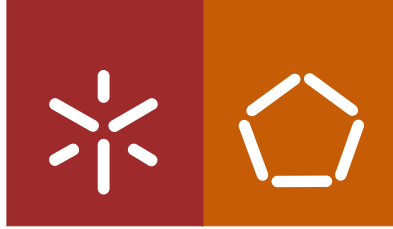


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Filipe Martinho Cerqueira Neves

**Projeto de um triciclo elétrico,
baseado num planador elétrico**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Filipe Martinho Cerqueira Neves

Projeto de um triciclo elétrico, baseado num planador elétrico

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efectuado sob a orientação de:
Professor Doutor Jorge José Gomes Martins
Universidade do Minho
Professor Doutor Francisco Brito
Universidade do Minho
Engenheiro Teófilo Leite
Empresa Eurosportaircraft

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço o precioso contributo do Professor Doutor Jorge José Gomes Martins, do Professor Doutor Francisco Brito e do Engenheiro Teófilo Leite. A inegável ajuda que me prestaram permitiu a construção deste trabalho num molde que não teria sido possível sem a colaboração destes. Partilharam comigo a sua experiência e rigor científico, enriquecendo, desse modo, não só a elaboração deste trabalho, mas também a minha formação na área de engenharia mecânica, ramo automóvel.

As reuniões com o Professor Doutor Jorge Martins realizaram-se semanalmente e assumiram um carácter formativo. Possibilitaram-me uma melhor tomada de decisões, ajudaram-me a detetar falhas e forneceram-me ferramentas que me permitissem colmatá-las. O empenho do Professor Doutor foi exímio. Ao longo deste ano letivo, fomos construindo uma relação de cordialidade e partilha, assente em princípios como a transparência e entreajuda. Na verdade, esta relação de colaboratividade não se restringiu ao horário da reunião, uma vez que o Professor Doutor Jorge Martins se mostrou sempre disponível para responder as minhas dúvidas, demonstrando assim a sua louvável vontade de ajudar.

O Professor Doutor Francisco Brito teve também um papel importante na realização da minha dissertação, oferecendo-me a sua presença nos seminários formativos. Colaborou em parceria com o Professor Doutor Jorge Martins e acompanhou todo o processo de elaboração deste projeto, transmitindo-me uma valiosa parte do seu conhecimento científico.

O meu processo formativo estaria incompleto sem a ajuda do Engenheiro Teófilo Leite, que me permitiu conciliar a teoria com a prática. É de indubitável importância a oportunidade que este me deu ao possibilitar-me trabalhar em parceria com ele, na empresa Europortaircraft. As minhas tarefas assentaram essencialmente na produção dos componentes previamente projetados. Esta experiência foi enriquecedora, na medida em que permitiu confrontar a teoria com a prática e, consequentemente, aperfeiçoar os meus saberes nesta área científica. Além disso, possibilitou-me a aquisição de novos conhecimentos, tais como a produção de componentes em fibra de carbono.

A equipa que me acompanhou, quer pelas competências profissionais que me ajudou a obter, quer pelo espírito colaborativo e prestável que demonstrou, faz parte integrante deste projeto, tendo sido o alicerce sob o qual eu construí esta dissertação. As bases que esta equipa me transmitiu estarão sempre presentes na minha vida, como pilares sob os quais pretendo crescer, a nível pessoal e profissional.

RESUMO

Esta dissertação aborda a elaboração de um projeto inovador da construção de um triciclo elétrico, baseado num planador elétrico, numa era onde as preocupações ambientais são uma presença constante e despertam cada vez mais a consciência de um maior número de indivíduos. A problemática ambiental é apresentada sucintamente no primeiro capítulo, onde são explicados os motivos pelos quais o carro elétrico se apresenta ecologicamente mais vantajoso. Apesar de os carros elétricos despertarem cada vez mais a atenção do mercado automóvel, a construção e desenvolvimento deste tipo de veículos não constitui uma novidade no ramo da engenharia automóvel, como é possível evidenciar no segundo capítulo, onde é feita uma breve abordagem histórica dos veículos que utilizam esta tecnologia. Esta foca os veículos elétricos mais carismáticos ao longo da história da engenharia automóvel. No entanto, o triciclo elétrico, construído a partir da fuselagem de um planador já existente, apesar de não apresentar uma rutura com a tecnologia já existente, constitui uma evolução e melhoramento da mesma, uma vez que procura a união da tecnologia aeronáutica e automóvel, visando uma melhor eficiência energética. Os principais conceitos chave inerentes à engenharia automóvel, e fulcrais para se contextualizar e fundamentar este projeto, são apresentados também no segundo capítulo, sob a forma de uma revisão bibliográfica. São, entre outros, abordados os conceitos de distribuição de massas, posição do centro de gravidade, características da geometria das suspensões, sistema de travões e análise aerodinâmica. O ponto fulcral do projeto, o desenvolvimento do desenho do triciclo motor, é apresentado no terceiro capítulo, acompanhado pela explicação da geometria de cada componente. São também apresentados diversos cálculos, tais como a distribuição e transferência de peso e forças atuantes no sistema de amortecimento. No quarto capítulo é efetuada uma análise aerodinâmica. Com os valores resultantes da análise aerodinâmica, é calculado o coeficiente aerodinâmico, bem como o consumo e autonomia do veículo. Por último, no quinto capítulo, é feita uma descrição da construção dos componentes em fibra, bem como das baterias. Complementarmente, são apresentadas as conclusões resultantes do projeto desenvolvido, que permitem avaliar a pertinência do mesmo no contexto atual, em que se exige veículos cada vez mais competitivos.

ABSTRACT

This dissertation aims to develop the innovative project of building a electric tricycle based on an electric glider, in a time of environmental concerns which are getting more and importance and which awaken more and more the awareness of a greater number of individuals. The environmental issues are briefly presented in the first chapter, in which the reasons why the electric car is getting more and more advantageous in an ecological perspective are explained. Although the electric car is calling more and more the attention the automotive market, the construction and development of this type of vehicules is not something new in the field of automotive engineering, as we can notice in the second chapter, in which a briefly historical approach about the vehicules based on this technology is presented. This approach highlights the most charismatic electric vehicles throughout the history of automobile engineering. Although the electric tricycle based on the fuselage of an existing glider doesn't present a breakthrough with the existing technology, it can be seen as an evolution and improvement of that technology, as it seeks the union between aviation technology and automobile technology, as an attempt to improve energy efficiency. The main key concepts which are inherent to automotive engineering and which are essential to contextualize and to substantiate this project are also presented in the second chapter, as a literature review. It is discussed, among other concepts, the concept of mass distribution, position of the center of gravity characteristics of the geometry of the suspensions, brakes and aerodynamic analysis. The main point of the project is the development of the motor tricycle design and it is presented in the third chapter, then it is followed by the explanation of the geometry of each component. We also present several calculations, such as distribution and transfer of weight and forces acting on the damping system. In the fourth chapter it is presented an aerodynamics analysis. The drag coefficient and the consumption and autonomy of the vehicle are estimated from the values obtained from the aerodynamic analysis. Finally, in the fifth chapter, it is given a description of the construction of the fiber components and the construction of the batteries. Finally, we present the conclusions obtained from the project which was developed are presented, which can make it possible to assess the relevance of the electric tricycle in the present time, a time that demands more and more competitive vehicles.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS	xviii
GLOSSÁRIO DE VARIÁVEIS	xix
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	2
1.1. Introdução.....	3
1.1.1. Poluição atmosférica	3
1.2. Política energética da comunidade europeia	4
1.3. Vantagens e desvantagens dos automóveis elétricos	5
1.4. Objetivos	6
1.5. Estrutura da dissertação.....	7
CAPÍTULO 2 - Revisão Bibliográfica	9
2.1. Introdução histórica.....	11
2.2. Análise dinâmica de um veículo automóvel.....	15
2.3. Chassis.....	16
2.4. Sistema de suspensão	17
2.4.1. Molas.....	18
2.5. Centro instantâneo de rotação	19
2.6. Centro de rolamento	20
2.7. Sistema de direção.....	21
2.7.1. Geometria <i>Ackermann</i>	22
2.8. Ângulos	22
2.8.1. Caster	22
2.8.2. Camber.....	23
2.8.3. Convergência	24
2.9. Sistema de travões	24
2.10. Sistema tilting.....	26

2.11.	Transferência de massa	26
2.11.1.	Transferência de massa longitudinal.....	27
2.11.2.	Transferência de massa lateral	27
2.12.	Análise aerodinâmica	28
CAPÍTULO 3 - Projeto		29
3.1.	Estudo e evolução do conceito.	31
3.2.	Chassis.....	34
3.3.	Braços de suspensão	34
3.4.	Cubo de rodas	35
3.5.	Jantes e pneus	36
3.6.	Escora, eixo traseiro e fixação do motor	37
3.7.	Cálculo do eixo de rolamento.....	41
3.8.	Sistema de direção.....	43
3.9.	Distribuição dinâmica do peso e forças atuantes.....	44
3.10.	Sistema de suspensão	52
3.11.	Validação do espaço interior	62
3.12.	Retrovisores, guarda-lamas, farolins e piscas	63
3.13.	Sistema elétrico	64
3.14.	Desenho final do triciclo motor.....	70
CAPÍTULO 4 - Análise aerodinâmica		71
4.1.	Construção do modelo simplificado.....	73
4.2.	Análise aerodinâmica	74
4.3.	Consumo e autonomia	79
CAPÍTULO 5 - Fabrico dos componentes		83
5.1.	Construção dos componentes em fibra de vidro	85
5.2.	Construção das baterias	89
5.3.	Montagem final do triciclo motor	91
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....		93
6.1.	Conclusões.....	95
6.2.	Trabalhos futuros.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		98

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1 – Locomotiva de Robert Davidson [3]	11
Figura 2.2 – Triciclo elétrico de Gustave Trouvé [4]	11
Figura 2.3 – Porsche Semper vivus [5]	12
Figura 2.4 – Phateon de wood [6]	12
Figura 2.5 – EV1 da General Motors[6]	13
Figura 2.6 – Toyota Prius [7]	13
Figura 2.7 – Renault twizy [7]	14
Figura 2.8 – Tesla roadster sport [8]	14
Figura 2.9 – Opel Ampera [9]	14
Figura 2.10 – Aptera 2e [10]	14
Figura 2.11 – Opel Rak-e [11]	14
Figura 2.12 – Eixos de referência, forças e momentos [12]	15
Figura 2.13 – Chassis em forma de H [13]	16
Figura 2.14 – Chassis monobloco [13]	16
Figura 2.15 – Veículo com chassis monobloco em compósito (Aptera) [10]	16
Figura 2.16 – Sistema de suspensão independente (suspensão Macpherson) [14]	17
Figura 2.17 – Sistema de suspensão de eixos rígidos [14]	17
Figura 2.18 – Suspensão <i>push-rod</i> [15]	18
Figura 2.19 – Molas [16]	19
Figura 2.20 – Amortecedores [17]	19

Figura 2.21 – Conjunto mola/amortecedor [18]	19
Figura 2.22 – Centro instantâneo de rotação [19].....	19
Figura 2.23 – Centro de rolamento [19].....	20
Figura 2.24 – Eixo de rolamento [19].....	20
Figura 2.25 – Esquema de um sistema de direção [20]	21
Figura 2.26 – Esquema de funcionamento de geometria <i>ackermann</i> [21]	22
Figura 2.27 – Caster [14]	23
Figura 2.28 – Camber negativo e positivo [14]	23
Figura 2.29 – Convergência [14]	24
Figura 2.30 – Divergência [14].....	24
Figura 2.31 – Travão de tambor [23]	25
Figura 2.32 – Travão de disco [24].....	25
Figura 2.33 – Esquema de sistema de travão [25]	25
Figura 2.34 – Mercedes-Benz f300 life jet [26].....	26

Capítulo 3

Figura 3.1 – Planador sem asas (Modelação em <i>SolidWorks</i>)	31
Figura 3.2 – Ilustração da maioria dos componentes.....	32
Figura 3.3 – Sistema de eixos	33
Figura 3.4 – Quadrilátero de análise de estabilidade	33
Figura 3.5 – Chassis.....	34
Figura 3.6 – Alojamento do chassis.....	34

Figura 3.7 – Ângulo máximo entre o pneu e o chão (6,2graus) e deslocação na vertical da roda ao chão (75mm)	35
Figura 3.8 – Braços triangulados simples, nas posições de limite inferior e superior	35
Figura 3.9 – Posicionamento dos braços de suspensão (vista de cima).....	35
Figura 3.10 – Posicionamento dos braços de suspensão.....	35
Figura 3.11 – Cubo de roda.....	36
Figura 3.12 – Eixo do cubo de roda com rolamentos	36
Figura 3.13 – Montagem do cubo de roda com disco e pinça de travão.....	36
Figura 3.14 – Jante e pneu (135/60R15)	36
Figura 3.15 – Ilustração da possível substituição do cubo de roda dianteiro pelo motor	37
Figura 3.16 – Escora	37
Figura 3.17 – Escora,	37
Figura 3.18 – Veio com as chumaceiras, anilhas e porcas (vista explodida).....	38
Figura 3.19 – Eixo de rotação da escora	38
Figura 3.20 – Eixo traseiro (vista explodida).....	38
Figura 3.21 – Motor de rotor externo EMRAX de 30kW	39
Figura 3.22 – Veio traseiro com zona estriada	39
Figura 3.23 – Fixação do motor na escora	39
Figura 3.24 – Motor aparafusado na escora.....	39
Figura 3.25 – Rolamentos posicionados para receberem o eixo.....	40
Figura 3.26 – Eixo estriado a passar pelo centro do motor.....	40
Figura 3.27 – Manga de eixo roda esquerda	40

Figura 3.28 – Manga de eixo lado motor	40
Figura 3.29 – Montagem com eixos, motor, disco e pinça de travão	41
Figura 3.30 – Centro instantâneo de rotação e centro de rolamento.....	41
Figura 3.31 – Eixo de rolamento.....	42
Figura 3.32 – Exemplo de centro de rotação abaixo do solo [29]	42
Figura 3.33 – Sistema de direção	43
Figura 3.34 – Esquema direção do triciclo e do raio de curvatura máximo	43
Figura 3.35 – Esquema da direção usando geometria <i>ackermann</i>	44
Figura 3.36 – Centro de massa (vista lateral)	48
Figura 3.37 – Centro de massa (vista de topo).....	48
Figura 3.38 – Rotação da carroçaria	50
Figura 3.39 – Deslocamento do centro de gravidade.....	51
Figura 3.40 – Variação do centro de massa	51
Figura 3.41 - Sistema de suspensão <i>push-rod</i>	52
Figura 3.42 – Esquema da força na roda e da reação do tirante	54
Figura 3.43 – Ângulo 1 formado entre a força aplicada no tirante e a direção do tirante visto de frente	55
Figura 3.44 – Sistema de suspensão	56
Figura 3.45 – Esquema de ligações da suspensão.....	56
Figura 3.46 – Esquema dos ângulos das forças atuantes no basculante	57
Figura 3.47 – Deslocamento vertical da roda em relação ao deslocamento do amortecedor ..	59
Figura 3.48 – Amortecedor traseiro com estrutura de suporte.....	60

Figura 3.49 – Esquema de forças entre a escora e o amortecedor traseiro	60
Figura 3.50 – Esquema do deslocamento do amortecedor traseiro	61
Figura 3.51 – Veículo na altura normal de operação com o condutor	62
Figura 3.52 – Veiculo na altura mínima	62
Figura 3.53 – Validação do espaço com modelo humano tridimensional	63
Figura 3.54 – Montagem com retrovisores	63
Figura 3.55 – Montagem com guarda-lamas	63
Figura 3.56 – Farolins e piscas	63
Figura 3.57 – Gráfico da densidade energética de diversos tipos de baterias [31]	64
Figura 3.58 – Célula de lítio-polímero.....	64
Figura 3.59 – Esquema de ligação em série e em paralelo [32]	65
Figura 3.60 – Esquema de ligação das células.....	67
Figura 3.61 – Desenho tridimensional da bateria	67
Figura 3.62 – Desenho da célula.....	67
Figura 3.63 – Localização das baterias	68
Figura 3.64 – Triciclo elétrico visto de trás	70
Figura 3.65 – Triciclo elétrico, vista lateral	70
Figura 3.66 – Triciclo elétrico vista de cima	70
Figura 3.67 – Triciclo elétrico vista de frente.....	70
Figura 3.68 – Triciclo elétrico	70

Capítulo 4

Figura 4.1 – Esboço das linhas de contorno do desenho do modelo tridimensional.	73
Figura 4.2 – Corpo central	73
Figura 4.3 – Modelo para análise aerodinâmica	73
Figura 4.4 – Túnel de vento	75
Figura 4.5 – Análise de pressões em toda a superfície do veículo	75
Figura 4.6 – Análise da direção do fluido, vista de topo e valores resultantes da análise	76
Figura 4.7 – Análise da direção tomada pelo fluido, vista lateral.....	76
Figura 4.8 – Superfície frontal área= $0,89\text{m}^2$	77
Figura 4.9 – Superfície frontal área= $1,12\text{m}^2$	77
Figura 4.10 – Superfície frontal área= 1.2m^2	77
Figura 4.11 – Exemplos de coeficientes de arrasto aerodinâmico [33]	78

Capítulo 5

Figura 5.1 – Molde da fuselagem (lado direito)	85
Figura 5.2 – Molde do cockpit.....	85
Figura 5.3 – Molde do aro da canopy	85
Figura 5.4 – Molde do nariz da fuselagem	85
Figura 5.5 – Tela de fibra de carbono.	87
Figura 5.6 – Cortiça	87
Figura 5.7 – Bomba de vácuo	87
Figura 5.8 – Tacky tape (Fita seladora de ar)	87

Figura 5.9 – Fuselagem em vácuo	88
Figura 5.10 – Cockpit em vácuo	88
Figura 5.11 – Nariz da fuselagem	88
Figura 5.12 – Aro da canopy.....	88
Figura 5.13 – Lateral direita da fuselagem	88
Figura 5.14 – Cockpit	88
Figura 5.15 – Nariz da fuselagem	88
Figura 5.16 – Aro da canopy.....	89
Figura 5.17 – Encosto do banco.....	89
Figura 5.18 – Desenho da placa de ligação da bateria	89
Figura 5.19 – Placa de ligação da bateria	89
Figura 5.20 – Barras de alumínio de secção retangular e circular e varão roscado	90
Figura 5.21 – Espaçador/condutor	90
Figura 5.22 – Célula.....	90
Figura 5.23 – Suporte das células para furação	90
Figura 5.24 – Montagem e fixação das células.....	91
Figura 5.25 – Montagem final	91

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 3.1 – Massas e posição dos componentes em relação a origem do referencial.....	44
Tabela 3.2 – Massas e percentagem de massa total nos eixos dianteiros e traseiro	47
Tabela 3.3 – Massas e percentagem de massa suspensa nos eixos dianteiros e traseiro	47
Tabela 3.4 – Massas não suspensa em cada roda.....	47
Tabela 3.5 – Parâmetros de entrada para os cálculos das transferências de massa longitudinal e lateral	48
Tabela 3.6 – Massa aplicada nas rodas nas diversas situações possíveis em estrada.	52
Tabela 3.7 – Componentes do sistema elétrico.....	68

GLOSSÁRIO DE VARIÁVEIS

A - Área

a – Aceleração

A_a – Arrasto aerodinâmico

a_l – Aceleração lateral

C_a – Consumo por arrasto aerodinâmico

C_c – Carga nominal de cada célula

C_m – Carga nominal de cada módulo

C_r -Coeficiente de rolamento

C_{tot} – Consumo total

C_{rol} – Consumo por arrasto de rolamento

C_x – Coeficiente aerodinâmico

d₁ – Braço da força aplicada na roda

d₂ – Braço da força aplicada no tirante

d₃ – Braço da força aplicada no conjunto das rodas do eixo traseiro

d₄ – Braço da força da reação do amortecedor traseiro

d_{ee} – Distância entre eixos

E_b – Energia armazenada numa bateria

E_t – Energia armazenada no conjunto de baterias

F – Carga sobre a mola

F_a – Força aplicada no amortecedor

F_{at} – Força aplicada no conjunto das rodas do eixo traseiro

F_b – Força aplicada no basculante

F_{rt} – Força de reação amortecedor traseiro

F_t – Força de reação do tirante

F_r – Força aplicada na roda

G – Gravidade

h_{cg} – Altura do centro de gravidade da massa total

h_{cgs} – Altura do centro de gravidade da massa suspensa

K – Constante elástica da mola

L - Distância entre o pino de rotação e a força aplicada pelo tirante;

l – Distância entre o pino de rotação e a força aplicada pelo amortecedor;

l_{ev} – largura entre vias do eixo em estudo

l_{evd} – Largura entre vias do eixo dianteiro

l_{evt} – Largura entre vias do eixo traseiro

m – Massa total do veículo

m_e – Massa no eixo em estudo

m_{pd} – Fração da massa suspensa do eixo dianteiro

m_{pt} - Fração da massa suspensa do eixo traseiro

N_b – Número de baterias

N_c – Número de células em cada módulo

N_m – Número de módulos

T_b – Tensão nominal da bateria

T_m – Tensão nominal de cada módulo

V – Velocidade

x – Deslocamento da mola

α – Ângulo formado entre a força aplicada no tirante e a inclinação do tirante.

β – Ângulo formado entre a direção da força aplicada pelo tirante no basculante e a força normal de reação do basculante.

ρ – Massa volúmica

γ – Ângulo formado entre a direção da força aplicada pelo amortecedor no basculante e a força normal de reação do basculante.

$\Delta_{lateral}$ – Transferência de massa lateral

$\Delta_{longitudinal}$ – Transferência de massa longitudinal

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A preservação do ambiente, o aquecimento global e as políticas energéticas são temas da atualidade do século XXI. Para responder a estas preocupações ambientais, são necessárias mudanças radicais.

1.1.1. Poluição atmosférica

A poluição do ar é em grande parte devida à queima de combustíveis fósseis. Dentro destes, os derivados do petróleo são aqueles que produzem compostos poluidores em maior quantidade, destacando-se os óxidos de azoto (NO_x), os hidrocarbonetos não queimados (HC), partículas (fumo), monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO_2). Este último, embora não seja tecnicamente um poluente, é um gás com efeito de estufa.

O monóxido de carbono é proveniente das queimas incompletas dos combustíveis fósseis, sendo os veículos de motor de combustíveis fósseis os maiores produtores desse gás. O monóxido de carbono tem um baixo peso molecular, que permite que seja facilmente disperso na atmosfera, o que minimiza o seu efeito. No entanto, este gás inodoro e incolor é altamente tóxico, devido à grande afinidade com a hemoglobina, um elemento presente nos glóbulos vermelhos, responsável pelo transporte de oxigénio. Essa ligação resulta na formação de carboxiemoglobina, que diminui a quantidade de oxigénio que chega aos órgãos, podendo provocar doenças como a aterosclerose, ou causando até mesmo a morte. [1]

O dióxido de carbono não é um gás tóxico exceto em elevadas concentrações. No entanto, o mesmo é em parte responsável pelo aquecimento global, devido ao facto de causar o efeito de estufa. Quando a radiação solar atravessa a atmosfera, a mesma é na sua maioria absorvida pela superfície terrestre, aquecendo-a. Alguma dessa radiação solar é refletida de volta para o espaço, mas, devido aos gases de estufa, parte dessa radiação é novamente refletida em direção à superfície terrestre, causando um aquecimento exagerado que poderá provocar alterações climáticas, tais como ondas de calor, subida dos níveis do mar e alterações nas precipitações. Poderá também causar também alterações a nível de saúde, aumentando o número de doenças infectocontagiosas, levando a problemas socioeconómicos e ecológicos. [1]

Os óxidos de azoto são prejudiciais para saúde, principalmente quando associados aos HC, podendo causar infeções respiratórias. Alguns HC são considerados cancerígenos e também podem causar dores de cabeça e problemas respiratórios. Os NO_x também são potenciais produtores de chuvas ácidas, que podem, por sua vez, destruir florestas ou poluir lençóis de água lagos ou rios. [1]

1.2. Política energética da comunidade europeia

Em virtude da primeira crise económica que abalou o mercado da energia em 1973, a comunidade económica europeia (CEE) definiu estratégias para uma maior racionalização do consumo de energia, sem prejudicar o crescimento económico ou o conforto e qualidade de vida dos seus habitantes. Nessa altura, a principal preocupação era a segurança do abastecimento, pelo que a resolução do problema passava pela produção de energia elétrica de origem nuclear e pela extração de recursos fósseis dentro do território da comunidade, ficando, em segundo plano, algumas preocupações ambientais. Após a segunda grande crise, em 1979, a CEE passou a ter como principal objetivo a diminuição da dependência energética externa e, nesse sentido, estabeleceu estratégias que passaram pela redução de consumo de petróleo e pela intensificação da produção de eletricidade através de energia nuclear, combustíveis sólidos e energias renováveis. Essas estratégias só foram aplicadas em zona isoladas, que eram especialmente suscetíveis a grandes ruturas de abastecimento. Desde 1986, a CEE tem vindo a lançar vários programas de apoio ao desenvolvimento e à produção de eletricidade, que incluem o recurso à hidroeletricidade tradicional, dando cada vez mais importância às energias renováveis como alternativa aos combustíveis fósseis. Até a década de 1990, a CEE tinha, como critério fundamental, para criação de qualquer fonte de energia renovável, a viabilidade económica. Assim sendo, só os projetos que cumprissem os requisitos poderiam obter apoios económicos da comunidade. Contudo, devido às alterações climáticas, as preocupações ambientais começaram a fazerem-se sentir e, nesse sentido, começaram a surgir programas de incentivo à produção de eletricidade através de fontes de energia renováveis, direcionados aos membros da CEE, com o objetivo de diminuir ou estabilizar as emissões de poluentes, tendo agora em consideração o custo ecológico. Nessa mesma década, também se iniciou um programa de limitação de CO₂, através do aumento da eficiência energética. Posteriormente, outros programas semelhantes também foram lançados. Surgem, na mesma década, programas como o ALTENER [2], o SAVE [3] e o THERMIE [4] e também protocolos internacionais, como o protocolo de Quioto [5], sempre com o

objetivo de aumentar a produção de eletricidade através de energias renováveis, de modo a diminuir a dependência energética e as emissões de poluentes. Dá-se a liberalização dos mercados comunitários da energia e surgem também apoios financeiros da CEE, com o objetivo de tornar as energias renováveis competitivas, através da concessão de subsídios, tarifas preferenciais, obrigações de compras ou ainda contratos de compra a longo prazo. Surgem programas de apoio à investigação de tecnologias ainda não suficientemente aperfeiçoadas, de modo a melhorar a competitividade global das fontes energéticas. Desde o ano 2000 até ao momento presente, não se registam grandes mudanças. Em 2006, foi estabelecida uma diretiva sobre a eficiência energética direcionada para todos os setores (transportes, indústria, serviços, doméstico, entre outros.) Em 2009, surgiu um novo programa de apoio a projetos no domínio da energia. Ao longo das últimas décadas, a CEE teve como objetivo principal a segurança do abastecimento, o que, aliado às problemáticas ambientais, conferiu às energias renováveis uma importância ímpar. [6]

1.3. Vantagens e desvantagens dos automóveis elétricos

É nesta perspetiva que se enquadram os transportes elétricos, que, conjugados com redes elétricas com alta percentagem de eletricidade produzida a partir de energias renováveis, como é o caso em Portugal [7], permitem a redução da dependência dos combustíveis fósseis e uma redução de emissões de poluentes, pelo menos nos centros das grandes cidades, visto os transportes elétricos não produzirem poluição local e as centrais térmicas situarem-se fora dos centros urbanos. Outra vantagem dos veículos elétricos é o facto de serem muito fiáveis e eficientes na gama de velocidade moderada e ainda terem a possibilidade de ter uma travagem regenerativa de cerca de 30%, o que em centros urbanos é muito vantajoso. [8]

Apesar destas vantagens, os automóveis elétricos são ainda um meio de transporte pouco usual, devido principalmente à sua falta de autonomia, falta de postos de abastecimentos e tempo de carga. As tecnologias de armazenamento de energia têm vindo a evoluir rapidamente. As tecnologias de íões de lítio (nomeadamente as de lítio-polímero utilizadas no presente trabalho) permitem um número muito maior de ciclos de descarga e têm ainda muito maior densidade energética volumétrica e gravimétrica, tendo o peso e volume muito reduzido comparativamente com as convencionais baterias de chumbo. Apesar destes avanços tecnológicos, as baterias continuam a ser a grande limitação dos veículos elétricos, tanto pela densidade energética como pelo seu preço muito elevado. É importante realçar que

um veículo elétrico tem um custo de manutenção e um custo de operação de cerca de um décimo comparativamente a um veículo a combustão. É de esperar que as tecnologias de armazenamento e de carregamento continuem a melhorar de forma a tornar os veículos elétricos cada vez mais competitivos, comparativamente aos veículos a combustão. [8]

Por sua vez, os veículos a combustão também têm defeitos, tais como emitirem compostos poluentes, terem baixa eficiência energética, principalmente em condução urbana, e ainda apresentarem poluição sonora. No entanto, estes continuam a ser os preferidos devido ao seu preço, autonomia, tempo de abastecimento e elevado número de postos de abastecimento. É expectável que essa preferência diminua à medida que as tecnologias de armazenamento e carregamento vão evoluindo.

Os veículos elétricos podem ver a sua autonomia estendida, aumentando a capacidade das baterias ou melhorando a sua eficiência energética, através da redução do peso e do arrasto aerodinâmico. De facto, a aeronáutica é precisamente a área onde essas características são mais otimizadas. Faz, por esse motivo, todo o sentido desenvolver um veículo baseado numa aeronave.

1.4. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a realização de um projeto de um triciclo elétrico, baseado num planador já existente. O uso do planador como base de trabalho tem como objetivo aproveitar a forma da fuselagem, com baixo coeficiente aerodinâmico e o seu baixo peso, de modo a obter um veículo de elevada eficiência energética. Pretende-se que o triciclo elétrico possa atingir velocidades de 120 km/h e tenha autonomia igual ou superior a 120km, com um conjunto de baterias de 9,1 kWh. A concretização deste objetivo, complexo e exigente, impõe a planificação e execução de um conjunto de etapas, que constituem sub-objetivos inerentes à concretização do projeto, listados, de seguida, pela sua ordem de execução.

-Escolher a distância entre eixo, distância entre vias e centro de massas, através do recurso a cálculos. Estes pretendem auferir os valores adequados à construção de um veículo estável, que cumpra as metas propostas pela empresa Eurosportcraft.

-Escolher/desenhar/dimensionar os principais componentes, tais como o chassi, sistema de direção, sistema de suspensão dianteira e traseira, sistema de controlo de motores e baterias. Esta etapa tem em vista a construção de componentes adequados ao projeto.

-Realizar o estudo aerodinâmico, com o finalidade de obtenção dos valores de coeficiente de arrasto aerodinâmico, de modo a estimar o consumo e a autonomia do veículo.

-Construir os diversos componentes do veículo, para posterior montagem dos mesmos.

1.5. Estrutura da dissertação

A multiplicidade de subtemas que aparecem correlacionados com a temática do projeto exigiu uma apresentação sintetizada das áreas mais relevantes, de modo a tornar possível uma melhor compreensão global do projeto. A dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, é introduzido o tema da problemática ambiental provocada pelos veículos a combustão e, conseqüentemente, as vantagens inerentes da substituição destes por veículos elétricos. No capítulo seguinte, é feita uma revisão bibliográfica, que se inicia por uma súmula acerca da história dos carros elétricos. Este capítulo tem com o objetivo ajudar os leitores a compreender a escolha dos diversos componentes e sistemas utilizados e, também, a compreender os cálculos efetuados. De seguida, é apresentado o desenvolvimento do desenho do projeto, nas suas fases mais importantes, juntamente com os diversos cálculos efetuados, como a distribuição e transferência de peso, e análise de força nos amortecedores. No capítulo quatro, são discutidos os resultados de algumas análises aerodinâmicas, efetuadas com o *software Solidworks*. O capítulo cinco trata da construção dos componentes do triciclo elétrico. Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2 - Revisão Bibliográfica

2.1. Introdução histórica

Os veículos elétricos são alvo de interesse atual, uma vez que representam, para o indivíduo comum, uma tecnologia moderna e inovadora, apesar de terem nascido muito antes do aparecimento das questões ambientais. De facto, o aparecimento dos motores elétricos data dos inícios do século XIX. Faraday desenvolveu o primeiro motor elétrico (motor homopolar) em 1821, seguido de Ányos Jedlik, em 1827. [8]

Neste contexto, pretende-se fazer uma breve abordagem histórica dos veículos elétricos mais carismáticos. Salienta-se que podem existir pequenas divergências nas datas apresentadas, uma vez que, dependendo da fonte consultada, a informação pode variar ligeiramente.

Em 1834, o americano Thomas Davenport constrói uma locomotiva elétrica miniatura e, em 1842, Robert Davidson apresentou um protótipo de uma locomotiva (Figura 2.1) alimentada com baterias não recargáveis, que percorreu uma distância superior a 2 km, atingindo uma velocidade superior a 6 km/h. [8]

Em 1859, foi inventada a primeira bateria recarregável de chumbo ácido, por um francês chamado Gaston Planté. [8]

Em 1881, o Francês Gustave Trouvé apresentou um triciclo elétrico na exposição internacional em Paris (Figura 2.2). [8]



Figura 2.1 – Locomotiva de Robert Davidson [8]

Figura 2.2 – Triciclo elétrico de Gustave Trouvé [9]

Em 1897, aparecem os primeiros táxis elétricos nas ruas de Nova Iorque. [8]

Em 1900, surge o primeiro carro híbrido (Figura 2.3) do mundo, criado por Ferdinand Porsche. [10]

Em 1902, surge o Phateon de Wood (Figura2.4), com uma autonomia de 22.5km a uma velocidade de 29 km/h. Em 1912, os veículos elétricos atingem o seu apogeu. Mais de um terço dos carros que circulam nas ruas é movido eletricamente, fenómeno que apenas começa a ser ligeiramente alterado com a introdução do Ford T, em 1908. [11]

No início dos anos 20, alguns fatores, tais como a fraca autonomia, a falta de postos de abastecimento, a falta de potência dos carros elétricos, aliados à crescente disponibilidade de petróleo e a produção em série do Ford T, fez com que os carros elétricos praticamente desaparecessem do mercado. [8]

A grande viragem surge em 1966. Neste ano, num congresso americano, acompanhando o contexto crescente de preocupações ambientais, é recomendada a construção de carros elétricos, devido aos problemas de poluição que os veículos de combustão interna causam e, também, devido ao aumento significativo do preço dos combustíveis. Eclode então o primeiro choque petrolífero, em 1973. [6]



Figura 2.3 – Porsche Semper vivus [10]



Figura2.4 – Phateon de wood [11]

Entre 1996 e 1998, a General Motors produziu 1117 unidades de carros elétricos GM EV1 (Figura 2.5). [11]

EM 1997, a Toyota lança o Prius, híbrido (Figura 2.6).



Figura 2.5 – EV1 da General Motors[11]



Figura 2.6 – Toyota Prius [11]

De 1997 até 2000, numerosos construtores lançam modelos elétricos, tais como o Honda EV plus, o GM EV1, o Ford ranger pick-up EV, Nissan altra EV, chevy S-10 EV e Toyota RAVA EV. No entanto, os carros elétricos não chegam a ganhar mercado, principalmente pelos problemas de fraca autonomia e tempo de carga que estes apresentam.

No contexto atual, o Renault Twizy, o Tesla Roadster sport e o Opel Ampera representam alguns dos modelos mais carismáticos. [8]

O Renault Twizy (Figura 2.7) chega com a promessa de revolucionar o mercado, pelo facto de ser 100% elétrico e por ter um preço de aquisição muito abaixo da média, comparativamente com os modelos anteriores. A nível de autonomia, o Twizy pode percorrer cerca de 115 quilómetros com uma carga completa e atingir velocidades de 80km/h. A carga completa da bateria é efetuada em cerca de 3h30m. [12]

Igualmente carismático é também o modelo Tesla Roadster sport (Figura 2.8), Consegue percorrer mais de 350 quilómetros com uma única carga, sendo o primeiro automóvel da categoria com esta capacidade. O seu motor de 292 cv permite-lhe acelerar dos 0 aos 100km/h em 3,7s e ainda atingir uma velocidade máxima de 210 km, controlada eletronicamente para poupar as baterias. Tais caraterísticas tornam-no um alvo de desejo para os amantes de carros elétricos. [8]

O Opel Ampera (Figura 2.9) é um veículo híbrido que promete uma autonomia de 80 quilómetros em modo puramente elétrico e uma autonomia de mais de 500 quilómetros, quando o motor gerador é ligado. Este veículo de quatro lugares possui baterias de lítio de 16kWh, que podem ser recarregadas através de qualquer tomada elétrica doméstica em cerca

de três horas. O motor debita 150 cv de potência, possibilitando acelerações dos 0 aos 100 km/h em cerca de 9.2 segundos e uma velocidade máxima de 161 km/h. [14]



Figura 2.7 – Renault twizy [12]

Figura 2.8 – Tesla roadster sport [13]

Figura 2.9 – Opel Ampera [14]

Seguem-se agora dois veículos que apresentam inúmeras semelhanças com o projeto desenvolvido e que será apresentado nos próximos capítulos.

O Aptera 2e (Figura 2.10) tem um tem uma estrutura totalmente em compósito, de modo a torná-lo mais leve. Possui igualmente um formato que se assemelha à fuselagem de um avião, de modo a ser possível obter um coeficiente aerodinâmico reduzido ($C_x=0.15$). Este modelo possui painéis solares instalados no teto e pesa 680kg. Ele pode atingir velocidades superiores a 150km/h e conta com uma autonomia de 320km. [8]

O Opel Rak-e (Figura 2.11) é um citadino com uma autonomia de 100km e uma velocidade máxima de 120km/h. Este modelo pesa 380kg e com os seus 49cv oferece acelerações dos 0 aos 100km/h em apenas 13 segundos. A bateria recebe a carga completa em cerca de 3 horas. [15]



Figura 2.10 – Aptera 2e [15]



Figura 2.11 – Opel Rak-e [16]

É expectável que, com o avanço das tecnologias de armazenamento e de carregamento, os veículos elétricos venham a ser cada vez mais competitivos, comparativamente aos veículos a combustão, ganhando novamente mercado.

2.2. Análise dinâmica de um veículo automóvel

Para determinar as grandezas que caracterizam a dinâmica do veículo, é necessário definir um sistema de eixos de referência (Figura 2.12). Neste sistema, devem ser contempladas as forças e os momentos atuantes no veículo.

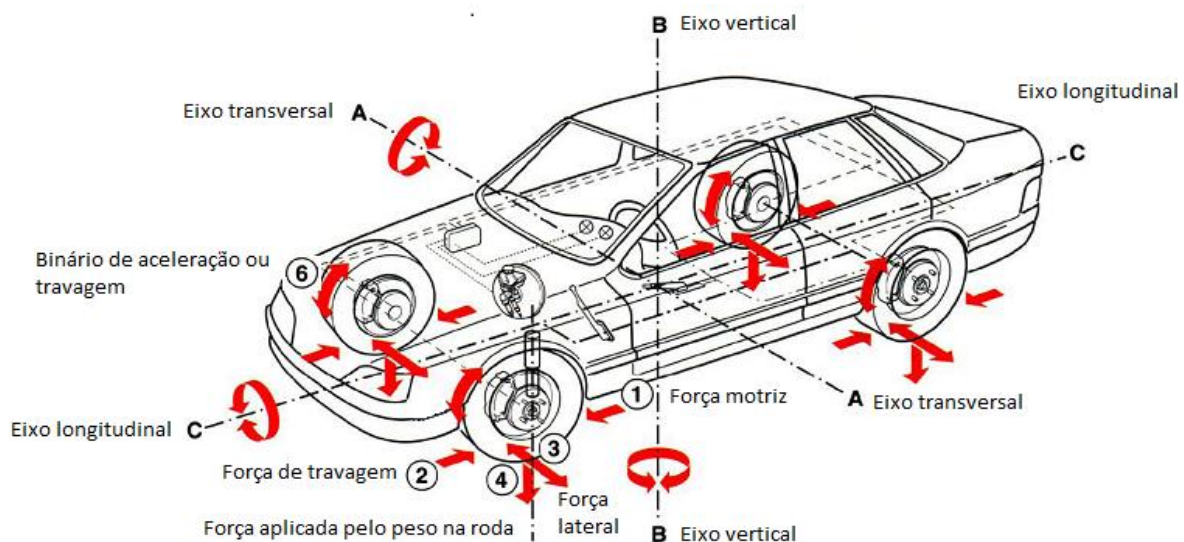


Figura 2.12 – Eixos de referência, forças e momentos [17]

O eixo transversal (A) é aquele que passa pelo centro de gravidade na direção perpendicular ao eixo longitudinal (C). Neste eixo, está contemplado o momento produzido durante as acelerações e durante a travagem.

O eixo (B) é o eixo vertical que passa pelo centro de gravidade e em torno do qual são produzidos momentos em curvas.

O eixo (C) é o eixo longitudinal do veículo que passa pelo centro de gravidade. Neste eixo, são produzidos momentos quando há inclinação lateral do veículo.

A força (1) é a força motriz do veículo que é transmitida ao solo através dos pneus.

A força (2) é a força de travagem do veículo, que é transmitida através dos pneus.

A força (3) é uma força lateral, que é aplicada nos pneus quando o veículo realiza uma curva ou quando o veículo está inclinado.

A força (4) é uma força vertical aplicada nas rodas, causada pelo peso do veículo.

O Binário (6) é um binário causado nas rodas pela aceleração ou travagem do veículo.

2.3. Chassis

Os primeiros chassis eram formados com duas vigas fixadas em forma de H (Figura 2.13) e nessa estrutura eram fixados os restantes componentes, tais como as suspensões, motor, transmissão e carroçaria. Desde 1930, começaram-se a reforçar as carroçarias, através de novos métodos de fabrico, tais como a soldadura, colagem e conformação de chapa, podendo assim aumentar a rigidez da estrutura. O objetivo de enrijecer a carroçaria, através de “conformação de chapa”, era aumentar a rigidez, podendo, em simultâneo, diminuir o peso do conjunto. Mais tarde, começou-se a otimizar a carroçaria, no que diz respeito à segurança dos passageiros do veículo, condutor e restantes utentes da via pública, em caso de colisão. O chassis monobloco (Figura 2.14) é um chassis que é integrado na carroçaria e forma o habitáculo, sendo este o chassis mais vulgar nos dias correntes. No chassis monobloco, as diversas chapas e componentes são maioritariamente soldados, havendo ainda assim alguns elementos colados. Existem ainda chassis monobloco em materiais compósitos, que tornam o veículo muito mais leve. Estes chassis são geralmente usados em carros de corrida, mas, devido à necessidade de diminuir os consumos, alguns veículos já estão adotar este tipo de chassis, como é o caso do Apterá (Figura 2.15).



Figura 2.13 – Chassis em forma de H [18]



Figura 2.14 – Chassis monobloco [18]



Figura 2.15 – Veículo com chassis monobloco em compósito (Apterá) [15]

2.4. Sistema de suspensão

O sistema de suspensão tem como principal função reduzir as acelerações verticais do veículo em caso de piso irregular, melhorando o conforto dos utentes do veículo. Outra função é a de manter o contacto do pneu com o solo, melhorando a aderência do pneu ao mesmo. O sistema de suspensão permite também manter o alinhamento das rodas, facilitando o controlo de condução.

Podemos dividir os sistemas de suspensão em dois grandes grupos, que são os sistemas independentes (Figura 2.16) e os sistemas de eixos rígidos (Figura 2.17).

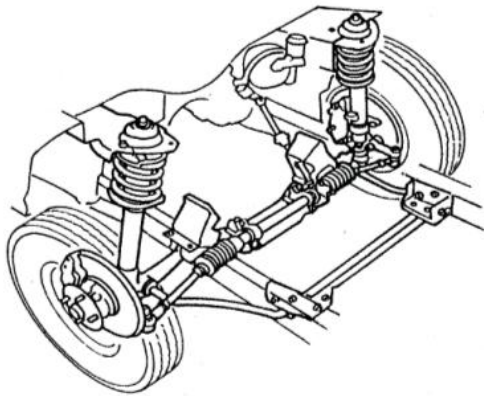


Figura 2.16 – Sistema de suspensão independente
(suspensão Macpherson) [19]

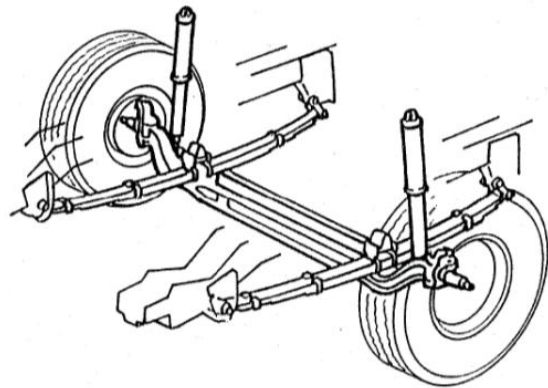


Figura 2.17 – Sistema de suspensão de eixos rígidos
[19]

Os sistemas de suspensão de eixos rígidos são mais simples e de menor custo. Têm grande capacidade de carga e necessitam de pouca manutenção. A grande desvantagem é que o movimento de uma suspensão afeta a outra do mesmo eixo, diminuindo o conforto e dificultando a condução. [19]

Os sistemas de suspensão independente são uma evolução dos sistemas dependentes e têm como principal vantagem o facto de melhorarem o conforto e a condutibilidade do automóvel. No entanto, têm a desvantagem de serem mais pesadas, complexas e dispendiosas. [19]

O sistema de suspensão Macpherson (Figura 2.16) é muito utilizados no carros de tração dianteira, por ser mais leve, ocupar menor espaço e ser de menor custo.

Os sistemas de suspensão *push-rod* (Figura 2.18) são sistemas muito usados na fórmula 1, em que os amortecedores e molas estão montados no interior do veículo e as forças atuantes são transmitidas por barras de acionamento, que criam uma estrutura de alavancagem. Este tipo de sistemas permite uma afinação fina, são sistemas compactos e reduzem a massa não suspensa.

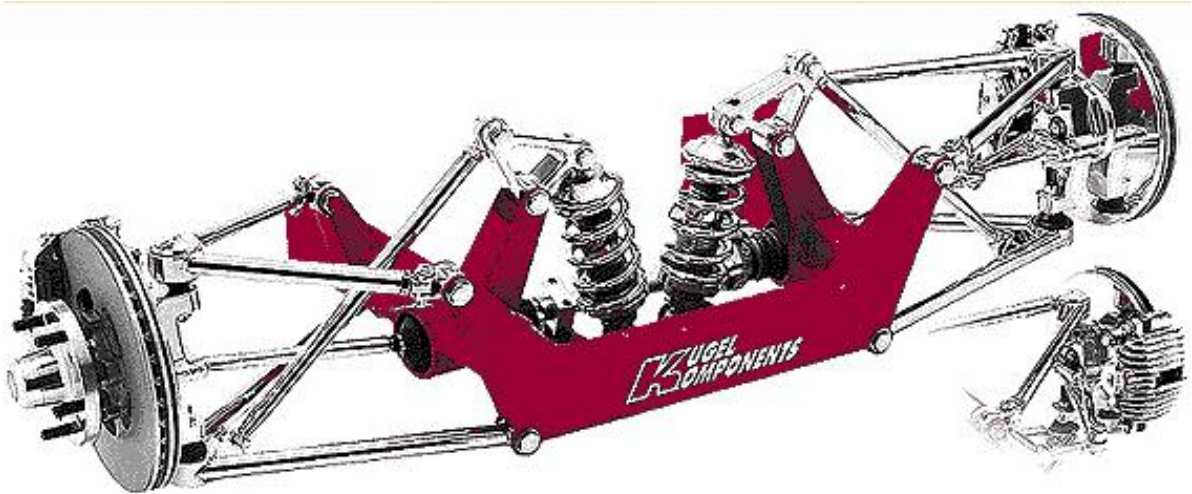


Figura 2.18 – Suspensão *push-rod* [20]

2.4.1. Molas

As molas helicoidais (Figura 2.19) são o tipo de molas que transmitem mais conforto ao condutor e, por isso, são muito utilizadas nos sistemas de suspensão. As molas permanecem acionadas devido ao peso do veículo e servem para absorver elasticamente a energia dos impactos provocados pelas irregularidades das estradas. A curva de rigidez da mola é calculada pela equação:

$$F = K * x \quad (2.1)$$

Onde:

F - Carga sobre a mola [N];

K - Constante elástica da mola [N/m];

x - Deslocamento da mola [m].

O amortecedor (Figura 2.20) serve para dissipar a energia da mola, suavizando a sua oscilação até à posição original. O sistema mola/amortecedor (Figura 2.21) é muito usado, por ser compacto.



Figura 2.19 – Molas [21]



Figura 2.20 – Amortecedores
[22]



Figura 2.21 – Conjunto
mola/amortecedor [23]

2.5. Centro instantâneo de rotação

O centro instantâneo de rotação (Figura 2.22) é a projeção imaginária de um ponto, que é a articulação da massa suspensa para uma determinada posição dos braços de suspensão. O centro instantâneo de rotação é definido pelo prolongamento imaginário dos braços de suspensão, pelo que varia consoante a posição dos braços de suspensão. Para braços de suspensão simples (braço triangulado de geometria fixa), o centro instantâneo de rotação é o próprio ponto de rotação do braço. [24]

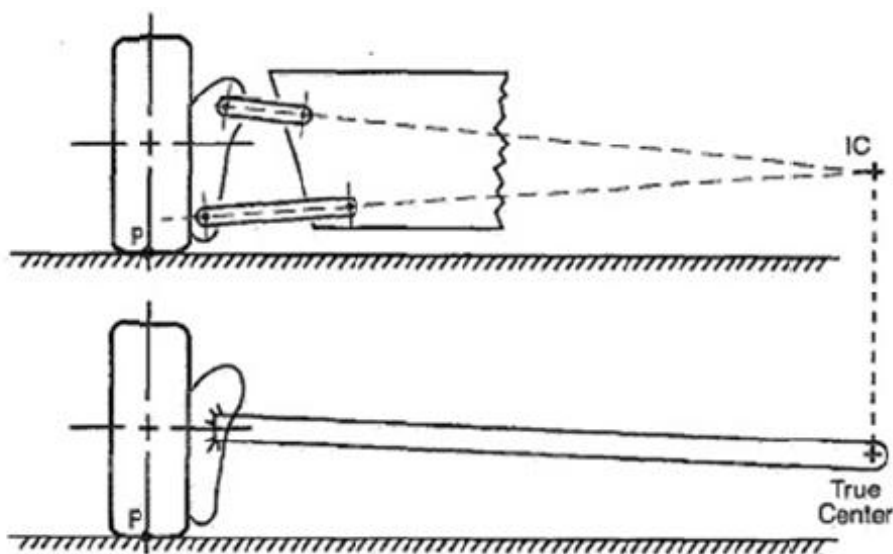


Figura 2.22 – Centro instantâneo de rotação [24]

2.6. Centro de rolamento

O centro de rolamento (Figura 2.23) da massa suspensa é definido pela interseção das duas retas que vão desde o ponto central de cada pneu junto ao solo até à projeção frontal do centro instantâneo de rotação respetiva. [24]

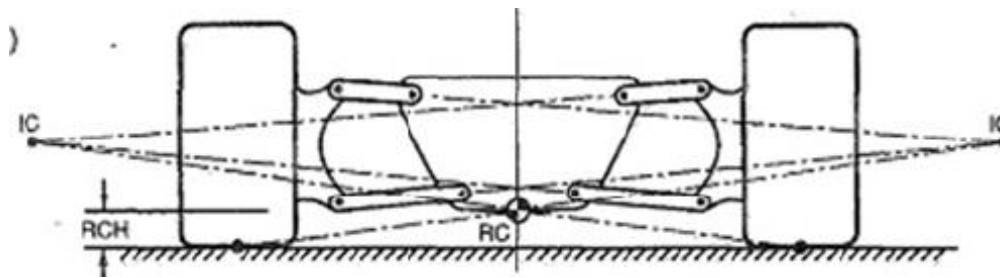


Figura 2.23 – Centro de rolamento [24]

O eixo de rolamento (Figura 2.24) é definido pela reta que vai desde do centro de rotação da suspensão dianteira até ao centro de rotação da suspensão traseira. Quando o veículo sofre uma aceleração lateral, é aplicada, no centro de gravidade, uma força que provoca um momento em torno do eixo de rolamento, em que o braço do momento é a distância vertical entre o centro de gravidade e o eixo de rotação, pelo que o eixo de rotação deve encontrar-se o mais próximo possível do centro de gravidade. [24]

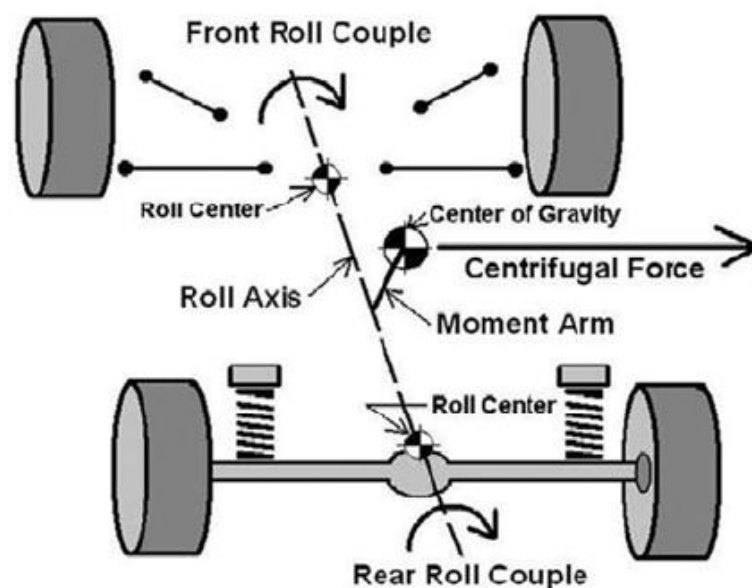


Figura 2.24 – Eixo de rolamento [24]

2.7. Sistema de direção

O sistema de direção é o conjunto de elementos que permite ao condutor virar as rodas a partir do interior do veículo, com o objetivo de alterar a trajetória do mesmo. O sistema de direção está, na maioria dos automóveis, ligado apenas às rodas dianteiras. Na Figura 2.25, pode-se visualizar um sistema tradicional de direção com cremalheira, que é um sistema composto por poucas peças, sendo mais leve do que outros. Tem um desenho simplista e ocupa pouco espaço. Esse sistema é basicamente composto por um volante, uma coluna de direção, um pinhão, uma cremalheira, dois braços de direção, dois tirantes e quatro rótulas esféricas.



Figura 2.25 – Esquema de um sistema de direção [25]

Nos dias correntes, é comum os automóveis terem um sistema de direção assistida que consiste na utilização de um fluido hidráulico que aciona a barra de direção. Existe uma bomba de óleo que fornece fluido hidráulico sob pressão e, ao mover o volante, aciona-se uma válvula que abre um orifício e fecha outro. O fluido que passa nesse orifício força o deslocamento da barra de direção. A direção assistida torna a direção mais leve e mais agradável para o condutor.

2.7.1. Geometria Ackermann

Quando um veículo está a curvar, as rodas diretrizes descrevem circunferências de diferentes diâmetros. A geometria de *ackermann* (Figura 2.26) permite que o ângulo da roda diretriz externa à curva seja inferior ao ângulo da roda diretriz interna, o que permite às rodas seguirem a trajetória da circunferência em que se inserem. Esta geometria é muito utilizada nos veículos de passageiros, por oferecer uma maior estabilidade e um menor desgaste dos pneus.

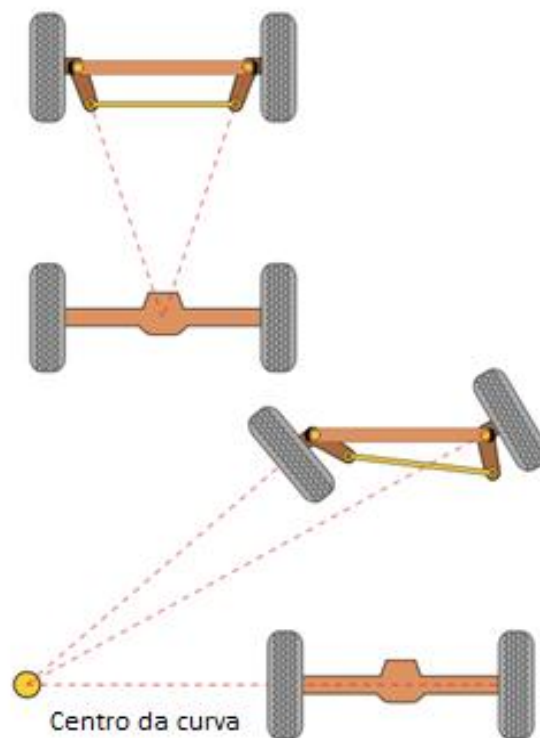


Figura 2.26 – Esquema de funcionamento de geometria *ackermann* [26]

2.8. Ângulos

2.8.1. Caster

O ângulo formado pela inclinação do eixo de direção com a linha vertical ao solo denomina-se *caster* (Figura 2.27). Quando a parte superior do eixo está inclinada para a traseira do veículo, o ângulo é positivo. Quando a parte superior do eixo está inclinado para frente do veículo, o ângulo é negativo. Quando não há inclinação, o ângulo é nulo. Na maioria dos automóveis, o ângulo é positivo para melhorar a estabilidade direcional. No

entanto, o avanço excessivo pode causar vibração da direção e tornar a mesma pesada. Este último problema pode ser contornado com a ajuda de uma caixa redutora e um sistema de direção assistida. [19]

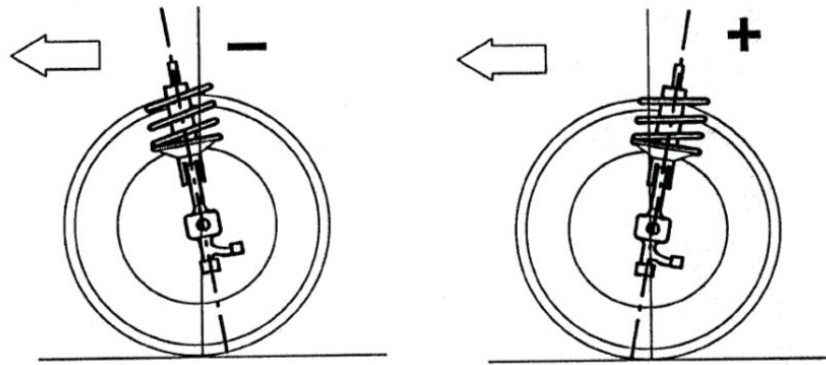


Figura 2.27 – Caster [19]

2.8.2. Camber

O ângulo formado pelo plano de rolamento da roda com a linha vertical ao solo é denominado camber (Figura 2.28). Este ângulo pode ser positivo negativo ou nulo. Na maioria dos automóveis, este ângulo assume valores positivos para reduzir a resistência ao rolamento e melhorar a aderência. O ângulo é positivo quando a inclinação é para fora, podendo originar desgaste nos bordos exteriores do pneu. Este é negativo quando a inclinação é para dentro, podendo causar desgaste no bordo interior do pneu. Por fim, se o ângulo é nulo não há inclinação em relação à linha vertical. [19]

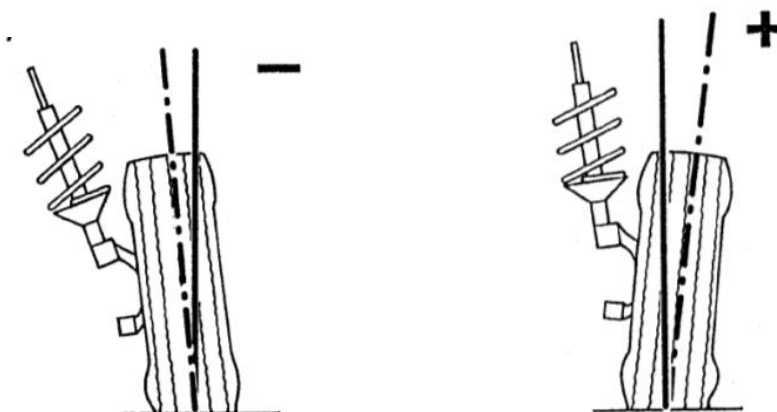


Figura 2.28 – Camber negativo e positivo [19]

2.8.3. Convergência

A convergência (Figura 2.29) é o ângulo formado pelo plano de rolamento da roda e o plano vertical central do automóvel. Quando a distância entre a parte da frente das rodas é menor do que a distância entre a parte traseira das mesmas, temos convergência. Quando a distância entre a parte da frente das rodas é maior do que a distância entre a parte traseira das mesmas temos divergência (Figura 2.30). A convergência excessiva causa desgaste no bordo exterior dos pneus. Quando a divergência é excessiva, é causado um desgaste excessivo no bordo interior dos pneus. [19]

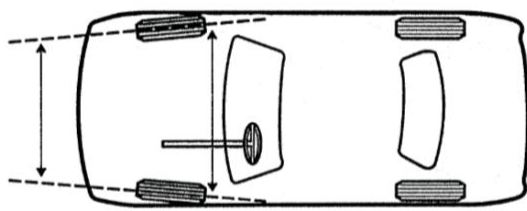


Figura 2.29 – Convergência [19]

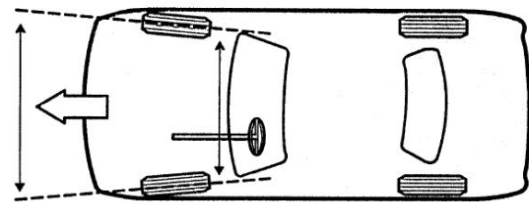


Figura 2.30 – Divergência [19]

2.9. Sistema de travões

O sistema de travagem é um mecanismo que tem como objetivo a redução da velocidade do veículo, de modo a controlar a velocidade do mesmo ou imobilizá-lo. Os dois tipos de travões mais usados nos automóveis são os travões de disco e o travão de tambor (Figura 2.31), e o princípio de funcionamento é semelhante em ambos. Quando o travão de disco é acionado, as pastilhas de travão, são pressionadas. Essa ação cria uma força de atrito que transforma a energia cinética do veículo em calor. O calor propaga-se pelo sistema de travagem, aquecendo o disco, as pastilhas de travão e o líquido hidráulico. Em caso de sobreaquecimento, pode ocorrer a vitrificação do disco, diminuindo drasticamente o coeficiente de atrito e, forçosamente, o poder de travagem. Quando ocorre um sobreaquecimento, o líquido hidráulico pode ganhar bolhas de ar, dando origem a uma falha do sistema. Por esses motivos, existem discos ventilados, (Figura 2.32) para escoarem melhor o calor para o ambiente. [27]



Figura 2.31 – Travão de tambor [28]



Figura 2.32 – Travão de disco [29]

Por medida de segurança, o sistema hidráulico dos automóveis está dividido em dois circuitos independentes, para que, caso falhe um dos circuitos, se possa travar em segurança com o outro. Na Figura 2.33, pode se ver um circuito típico de um sistema de travão.

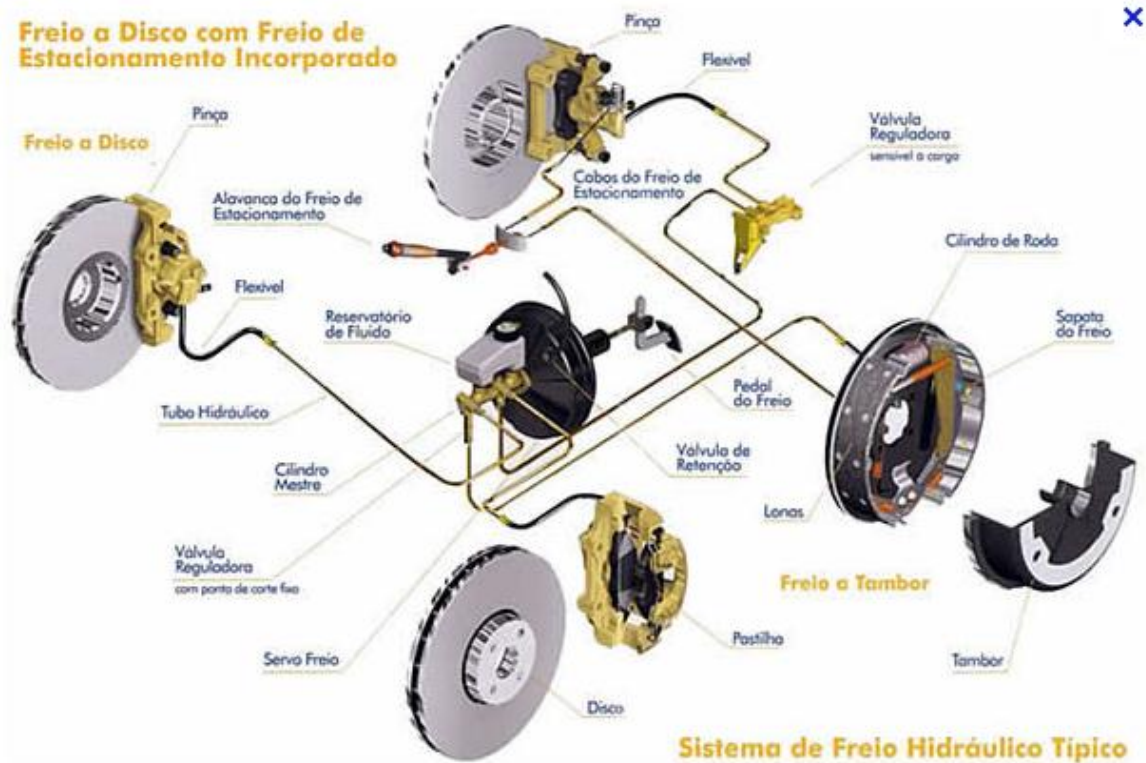


Figura 2.33 – Esquema de sistema de travão [30]

2.10. Sistema tilting

O sistema *tilting* permite a um veículo de três ou mais rodas inclinar-se nas curvas como uma moto de duas rodas. Isso confere ao veículo uma maior aderência e estabilidade. Pode-se ver na Figura 2.34 o Mercedes-Benz f300 life jet a inclinar a carroçaria e as rodas, ao entrar na curva. A grande vantagem deste sistema é ter a dinâmica de uma moto e a segurança e conforto de um carro, e não exigir a utilização do capacete. Para este sistema funcionar, é necessária uma interação ultrarrápida entre a eletrônica, a hidráulica e a mecânica. Existem sensores que enviam ao computador de bordo dados como a aceleração centrípeta, velocidade, ângulo atual da carroçaria e posição do cilindro hidráulico. O computador de bordo calcula o ângulo de inclinação ideal e envia os sinais aos atuadores, ajustando com precisão a inclinação da carroçaria e das rodas.



Figura 2.34 – Mercedes-Benz f300 life jet [31]

2.11. Transferência de massa

A transferência de massa é o deslocamento de carga nas rodas, causada por acelerações travagens e curvas. Podemos ter transferências de massa longitudinais, laterais ou mistas.

2.11.1. Transferência de massa longitudinal

A transferência de massa longitudinal ocorre quando o condutor altera a velocidade do veículo. Desacelerar transfere peso para o eixo dianteiro e acelerar transfere peso para o eixo traseiro. Pode-se calcular a transferência máxima de massa longitudinal através da equação: [24]

$$\Delta_{longitudinal} = \frac{m \cdot a \cdot h_{cg}}{d_{ee}} \quad (2.2)$$

Onde:

m - Massa total do veículo em [kg];

a - Aceleração em [m/s²];

h_{cg} - Distância vertical entre o centro de gravidade e o chão em [m] (coordenada Z do centro de gravidade);

d_{ee} - Distância entre eixos em [m].

2.11.2. Transferência de massa lateral

A transferência de massa lateral ocorre devido a aceleração centrípeta do veículo quando entra em curva. A aceleração centrípeta varia com a velocidade do veículo e o raio de curvatura da curva. A transferência de massa lateral pode ser calculada pela equação: [24]

$$\Delta_{lateral} = \frac{m_e \cdot a_l \cdot h_{cg}}{l_{ev}} \quad (2.3)$$

Onde:

m_e - Massa do eixo em estudo [kg];

a_l - Aceleração lateral [m/s²];

h_{cg} - Distância vertical entre o centro de gravidade e o chão em [m] (coordenada Z do centro de gravidade);

l_{ev} - Largura entre vias do eixo em estudo [m].

2.12. Análise aerodinâmica

A simulação computacional de fluidos é uma ferramenta prática e útil, usada para analisar escoamentos de fluidos, a partir do desenho tridimensional de um componente ou conjunto de componentes, que se pretendam analisar sem necessidade de os produzir fisicamente. A simulação computacional permite ainda que, após a verificação dos resultados das análises efetuadas, se possam realizar alterações no projeto de uma forma rápida e fácil, para de seguida reanalisar a nova versão do projeto. Desse modo, pode-se comparar os resultados da nova análise com os da anterior. Este tipo de simulação faz com que o desenvolvimento de um projeto se torne mais económico e o tempo de execução seja inferior. Naturalmente requer-se um bom domínio do fenómeno e do *software* em questão de forma a escolher convenientemente parâmetros sensíveis, como a estrutura da malha e as condições de fronteira.

CAPÍTULO 3 - Projeto

3.1. Estudo e evolução do conceito.

Este projeto foi proposto pela empresa Eurosportaircraft, que está a iniciar-se na produção de planadores. Como primeiro protótipo, a empresa está a produzir um planador elétrico de baixo consumo (Figura 3.1). O planador é maioritariamente construído em fibra de carbono e tem uma lotação de dois passageiros. O mesmo tem como principais inovações a possibilidade de estender as asas, de modo a aumentar o coeficiente de planagem e também o uso de um motor *wankel*, com a finalidade de aumentar a autonomia.

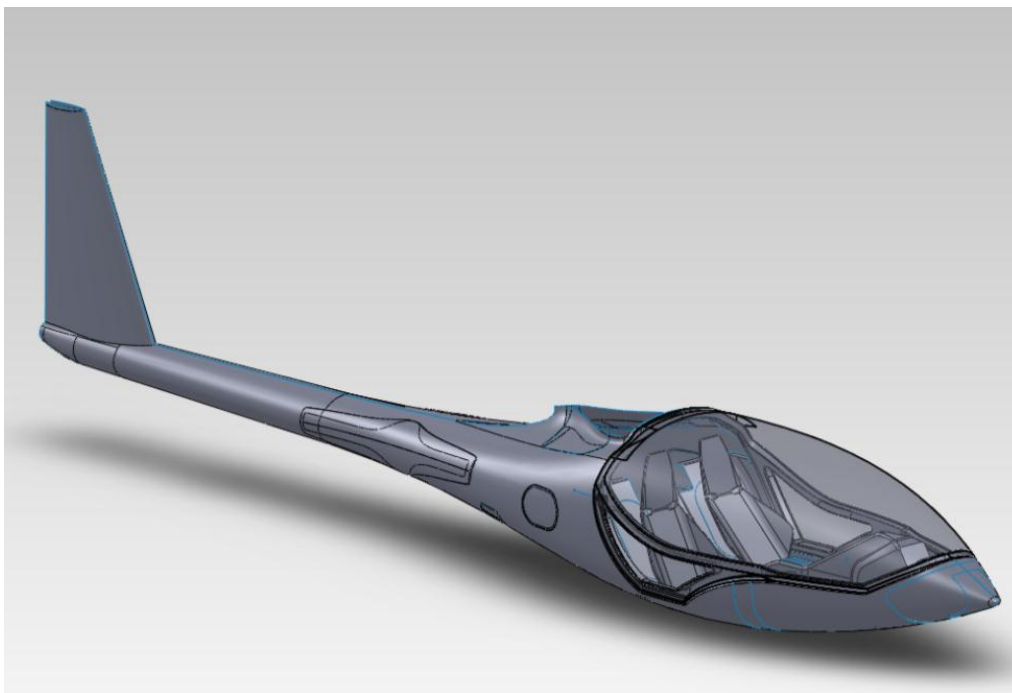


Figura 3.1 – Planador sem asas (Modelação em *SolidWorks*)

Ao observar as tendências dos veículos elétricos, a empresa Eurosportaircraft apercebeu-se imediatamente do elevado potencial do aproveitamento da fuselagem e do cockpit do planador. O objetivo é aproveitar o baixo peso e o muito baixo arrasto aerodinâmico do planador, transformando-o num triciclo elétrico, aproveitando o cockpit, parte da fuselagem e do sistema elétrico. O conceito do triciclo motor abarca a construção de um veículo de três rodas, capaz de transportar dois passageiros e que possua uma autonomia consideravelmente alta, por ser energeticamente muito eficiente. Segundo o decreto de lei nº 30/2002 de 16 de fevereiro [32], duas rodas montadas no mesmo eixo e cuja distância entre os centros das superfícies de contacto dessas rodas com o solo seja igual ou inferior a 460 mm, são consideradas como uma roda única. Ao abrigo dessa lei, projetou-se um triciclo motor em que

o eixo traseiro é composto por duas rodas, que para efeitos de homologação se considera apenas uma roda única. De seguida, é apresentada na Figura 3.2 a maioria dos componentes que foram desenhados, de modo a ajudar o leitor a contextualizar-se, à medida que os mesmos são apresentados de forma isolada.

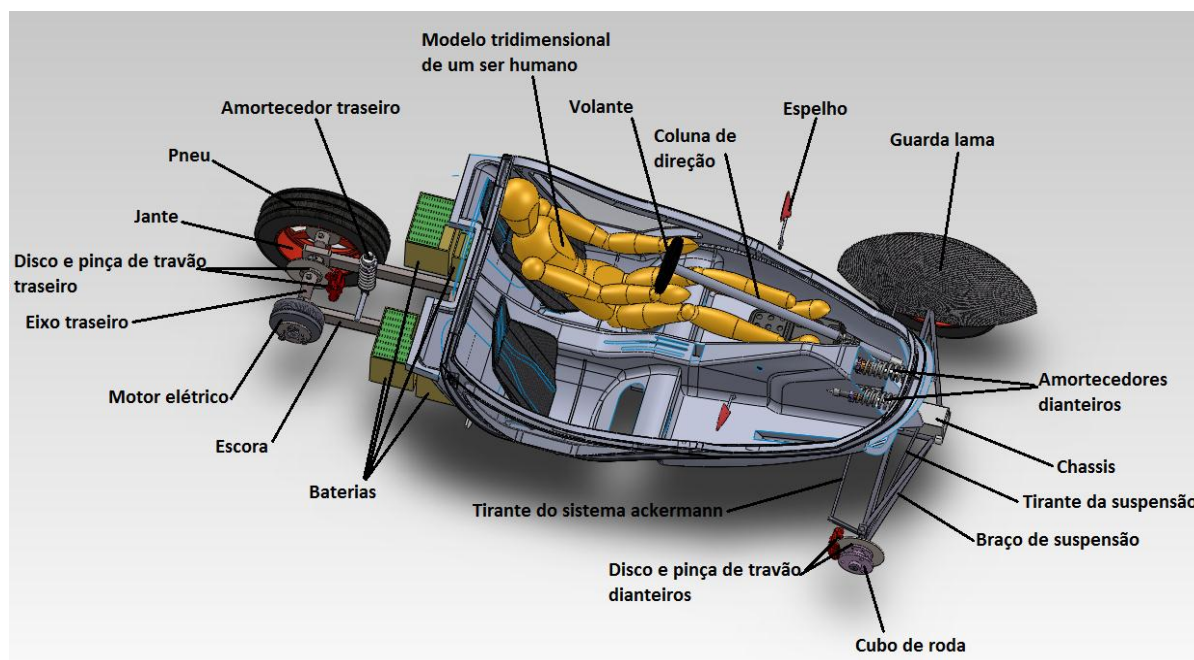


Figura 3.2 – Ilustração da maioria dos componentes

Numa primeira fase de projeto, foi necessário remover os elementos do desenho inicial não necessários ao triciclo motor, como a cauda e as asas. Começou-se então a equacionar o comprimento, largura altura e localização das rodas, de modo a obter a maior estabilidade possível, maximizando o desempenho aerodinâmico e a facilidade de deslocação em trânsito citadino. Neste processo, foi feita uma análise comparativa de diversos veículos. Este processo inicial foi, em parte empírico, visto não se saber ainda a disposição do peso final. Escolheu-se então um comprimento de 3250 mm, uma largura de 1800 mm e uma altura ao chão de 150mm. Criou-se um sistema de coordenadas (Figura 3.3), em que o ponto (0,0,0) está a meio das duas rodas traseiras, à altura do chão, obtendo um ponto de referência para os cálculos.

Após a seleção de alguns componentes (capítulo 3), como as jantes, motor e baterias, começou-se a calcular o centro de gravidade, sabendo que sempre que algum elemento fosse introduzido ou deslocado, seria necessário recalculá-lo, tornando este processo iterativo.

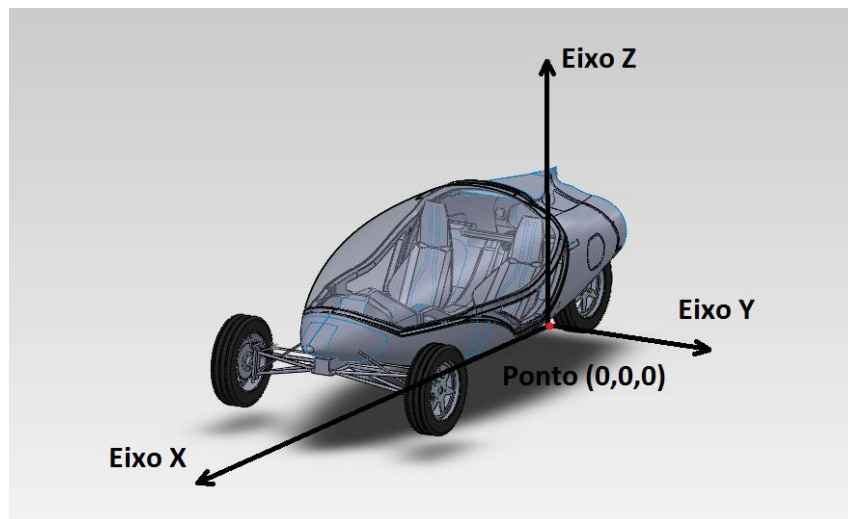


Figura 3.3 – Sistema de eixos

Estipulou-se que o valor máximo de aceleração lateral e longitudinal seria de 1G, pois este é sensivelmente o valor limite para pneus de elevado desempenho em alcatrão que esteja em muito bom estado. Construiu-se um quadrilátero (Figura 3.4), que representa o triciclo motor visto de cima. No centro de gravidade, desenhou-se uma circunferência que representa a variação da projeção no solo do centro de gravidade. O quadrilátero de análise de estabilidade serve para observar a estabilidade do veículo. Ao analisar a Figura 3.4, concluiu-se que o veículo não irá capotar pela simples atuação das forças de aceleração lateral e longitudinal, pois o centro de gravidade mantém-se dentro da zona de estabilidade, que é a zona interna do quadrilátero.

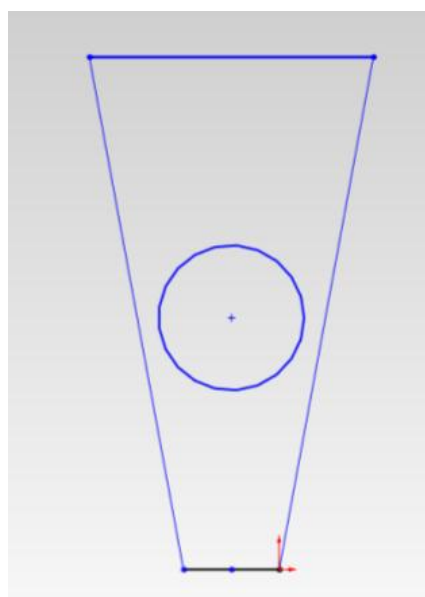


Figura 3.4 – Quadrilátero de análise de estabilidade

3.2. Chassis

Inicialmente, o objetivo era construir um chassis monocoque em fibra de carbono, onde todos os elementos mecânicos seriam fixados. No entanto, após algumas reconsiderações, optou-se por construir uma estrutura em alumínio (Figura 3.5), onde todos os componentes seriam posteriormente aparafusados. A principal motivação da mudança foi a relação custo/benefício, pois o material da fuselagem passou a ser fibra de vidro, que é um material mais barato do que a fibra de carbono. Pode se ver na Figura 3.6 o local onde o chassis é alojado.

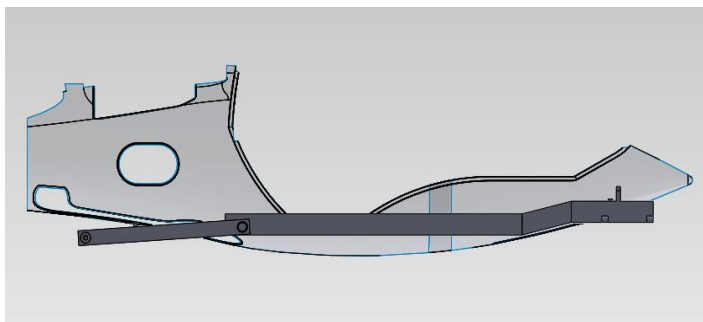


Figura 3.5 – Chassis

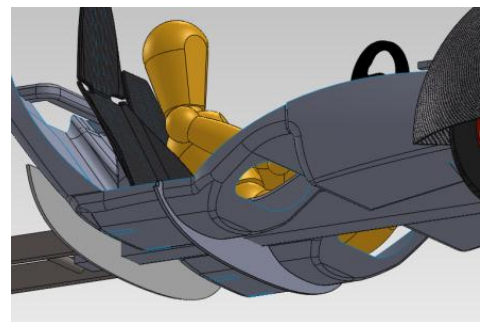


Figura 3.6 – Alojamento do chassis

3.3. Braços de suspensão

Os primeiros braços desenhados eram o mais longos possível, para obter a melhor estabilidade possível, visto o conceito ser um veículo de três rodas, capaz de atingir velocidades superiores a 120km/h. O veículo tinha uma largura máxima de 1800mm no eixo dianteiro. A suspensão era do tipo duplo triângulo e com sistema *tilting*. Fizeram-se inúmeros esboços do funcionamento do sistema, no entanto, verificou-se que, para a velocidade máxima pretendida, o veículo era estável e apresentava uma grande margem de segurança, mesmo na ausência do sistema *tilting*. Visto o sistema *tilting* ser complexo, dispendioso e dispensável, removeu-se esse sistema do projeto. Reequacionando o problema, observou-se que a amplitude máxima do deslocamento angular dos braços de suspensão era bastante pequena. Ao usarmos um braço de suspensão de triângulo simples, o ângulo máximo efetuado entre o pneu e o piso é de 6.2 graus, devido ao curso da suspensão (Figura 3.7). Surgiu então a ideia de simplificar mais ainda o conceito, passando de braços de suspensão de duplo triângulo para braços de suspensão de triângulo simples (Figura 3.8), com uma largura entre vias da frente de 1365 mm, ainda assim deixando margem de segurança (Figura 3.4).

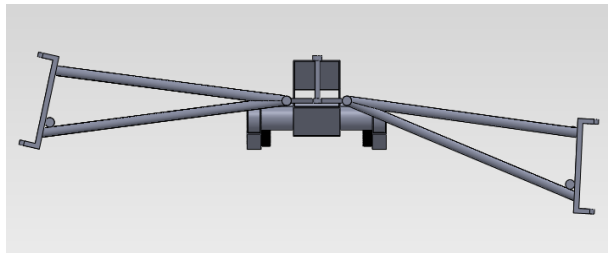
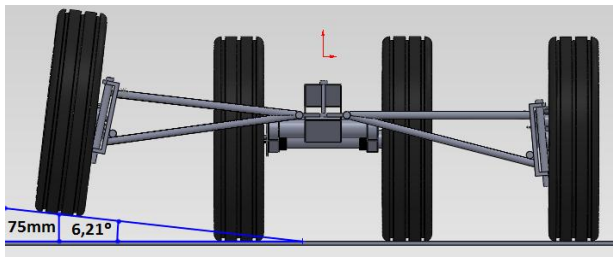


Figura 3.7 – Ângulo máximo entre o pneu e o chão (6,2graus) e deslocação na vertical da roda ao chão (75mm)

Figura 3.8 – Braços triangulados simples, nas posições de limite inferior e superior

Os braços de suspensão simples foram posicionados (Figura 3.9 e Figura 3.10) de forma a não ser necessário recortar o cockpit devido ao movimento dos mesmos, mas deixando o seu eixo de rotação o menos saliente possível, para não prejudicar a aerodinâmica.

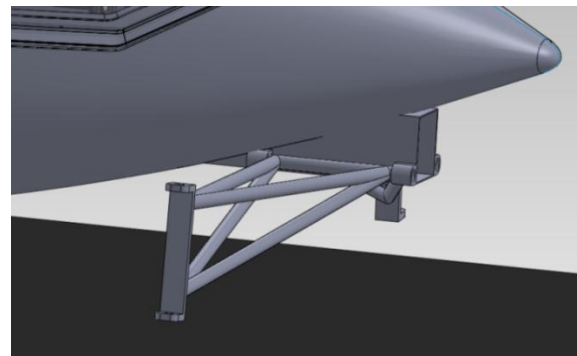
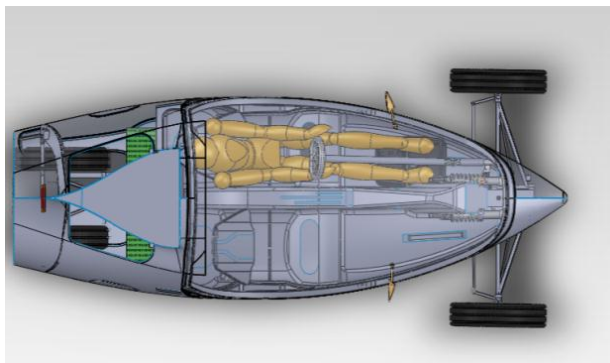


Figura 3.9 – Posicionamento dos braços de suspensão (vista de cima)

Figura 3.10 – Posicionamento dos braços de suspensão

3.4. Cubo de rodas

Os cubos de rodas foram desenhados com sistema de furação para as jantes que equipam o veículo Smart Fortwo. Na Figura 3.11, pode-se ver um cubo de roda, que numa flange tem três furos para fixar a jante e na outra flange tem seis furos, para fixar um disco de travão. Na Figura 3.12, podem ser visualizados os rolamentos, de cor preta. Na Figura 3.13, visualiza-se a montagem com o cubo, rolamentos, disco e pinça de travão.

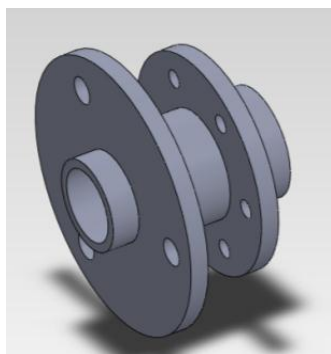


Figura 3.11 – Cubo de roda

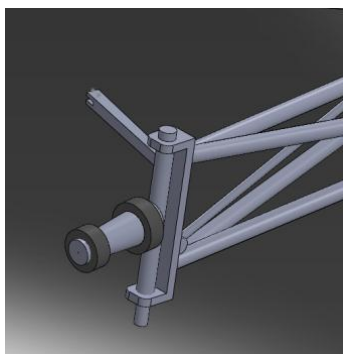


Figura 3.12 – Eixo do cubo de roda com rolamentos

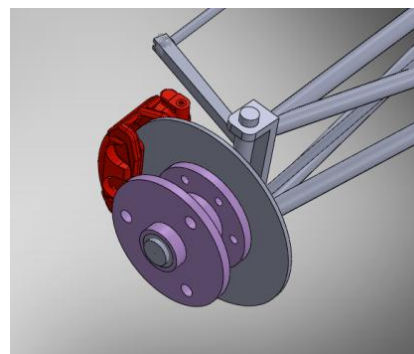


Figura 3.13 – Montagem do cubo de roda com disco e pinça de travão

3.5. Jantes e pneus

Para facilitar a homologação, foi sempre visada a utilização de componentes de veículos existente e homologados.

Foram inicialmente incluídos jantes e pneus de Honda CBR, imprescindíveis para o sistema *tilting*, que foi posteriormente removido do projeto, por motivos explicados anteriormente. Foram então escolhidas jantes e pneus que equipam o veículo Smart Fortwo (135/60R15) (Figura 3.14), devido ao facto de o Smart possuir dimensões e peso adequados aos do conceito em estudo.



Figura 3.14 – Jante e pneu (135/60R15)

3.6. Escora, eixo traseiro e fixação do motor

Numa primeira fase, o motor foi localizado logo atrás dos assentos, posicionado sobre o eixo da escora, com o objetivo de colocar uma cremalheira junto ao motor e outra no veio de trás, para fazer a transmissão através de uma corrente. Mais tarde, chegou-se a um conceito bastante mais interessante, que é a colocação do motor junto à roda (Figura 3.20), permitindo tração nas quatro rodas. Esta configuração, tal como foi desenhado, permite a colocação de dois motores, um em cada roda traseira, através de uma pequena alteração. No caso de se querer colocar também motores nas rodas dianteiras, foi pensada uma solução simples, que consiste em substituir o cubo de roda por um motor elétrico de rotor externo (Figura 3.15).

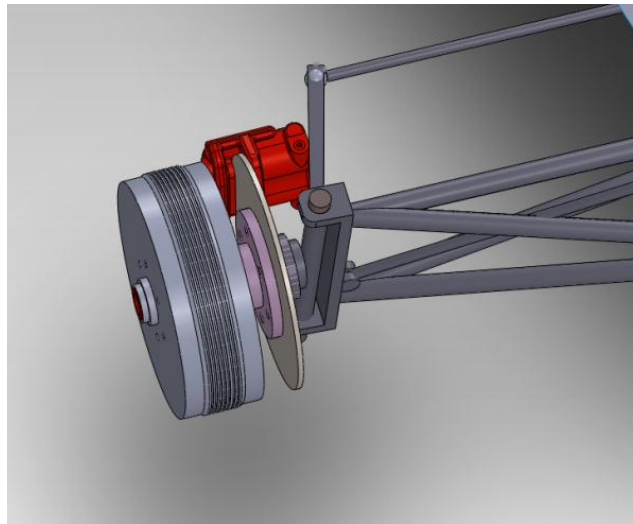


Figura 3.15 – Ilustração da possível substituição do cubo de roda dianteiro pelo motor

Foi desenhado uma escora em forma de H (Figura 3.16) para o sistema da suspensão traseira. Pode-se observar, na Figura 3.17, a furação que serve para fixar o motor. Também se pode observar o local onde ficam alojados os rolamentos.

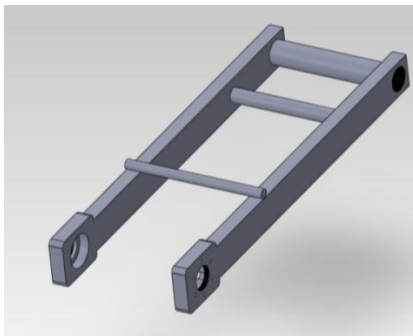


Figura 3.16 – Escora

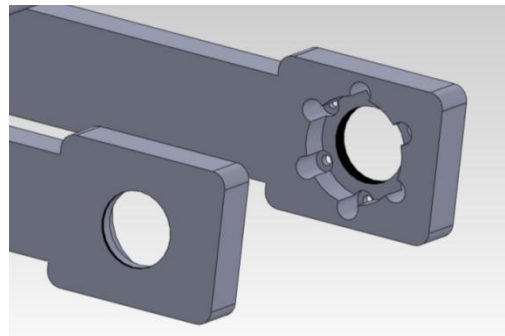


Figura 3.17 – Escora,

Para possibilitar a rotação da escora em torno do seu eixo, é utilizado um veio com uma chumaceira de cada lado. Pode-se observar a vista explodida na Figura 3.18 e o sistema já montado na Figura 3.19

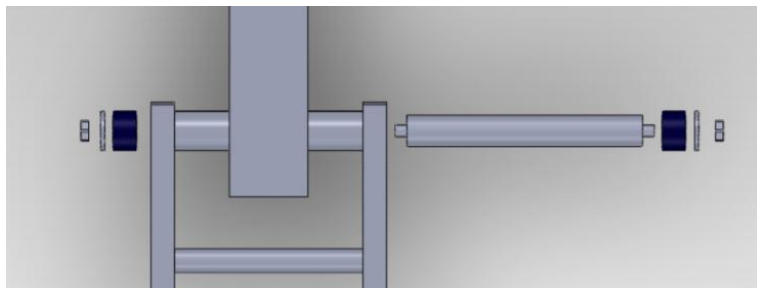


Figura 3.18 – Veio com as chumaceiras, anilhas e porcas (vista explodida)

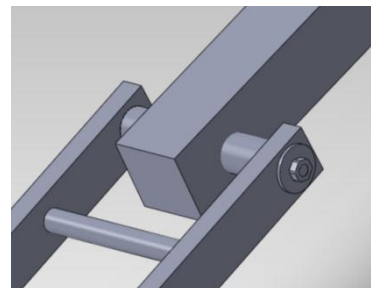


Figura 3.19 – Eixo de rotação da escora

Para melhor compreender o funcionamento do eixo traseiro, foi feita uma figura do eixo traseiro em vista explodida (Figura 3.20), com os respectivos componentes, sendo mais à frente detalhada a sua montagem.

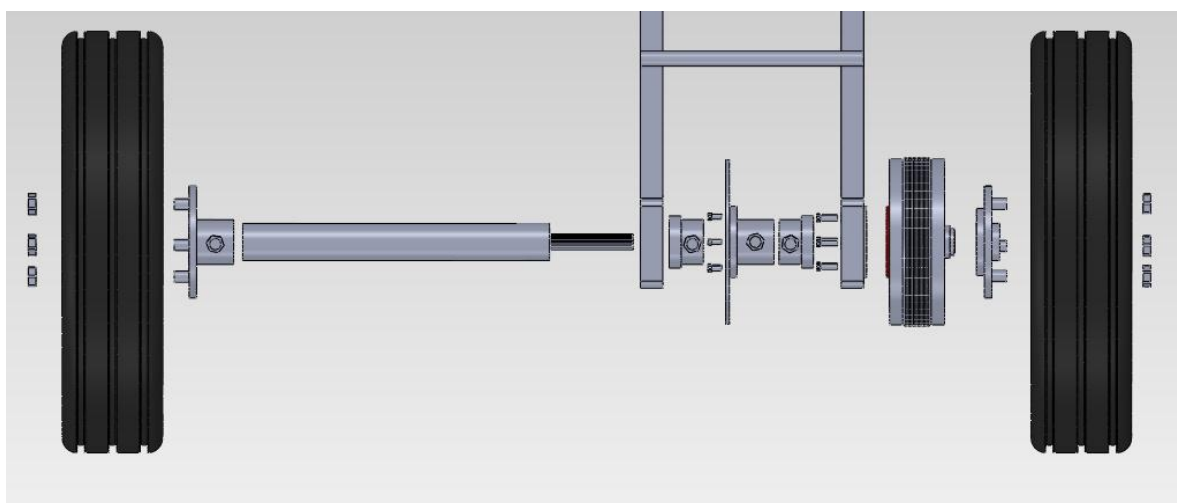


Figura 3.20 – Eixo traseiro (vista explodida)

O motor utilizado é de rotor externo da marca EMRAX. Ele é constituído pelo estator e pelo rotor, sendo o rotor a parte rotativa e o estator a parte imóvel. Pode-se ver na Figura 3.21 o motor, sendo a parte central vermelha, o estator e a parte cinzenta, o rotor. O veio traseiro, que pode ser visto na Figura 3.22, tem uma zona estriada. Essa zona estriada serve para transmitir o binário da flange, que está acoplada ao motor, para o veio.

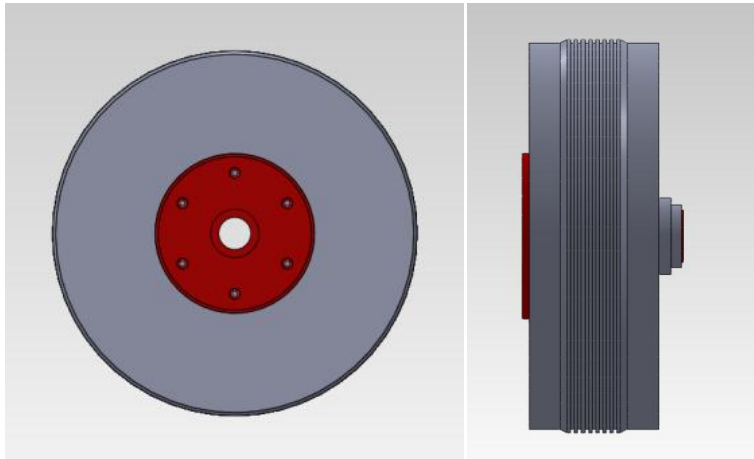


Figura 3.21 – Motor de rotor externo EMRAX de 30kW



Figura 3.22 – Veio traseiro com zona estriada

A montagem do eixo traseiro começa pela fixação do motor, pois, após a colocação dos rolamentos, é impossível aceder aos parafusos do mesmo. Deve-se então colocar o motor junto à escora, como na Figura 3.23, e aparafusá-lo. Pode-se visualizar, na Figura 3.24, o motor já aparafusado.

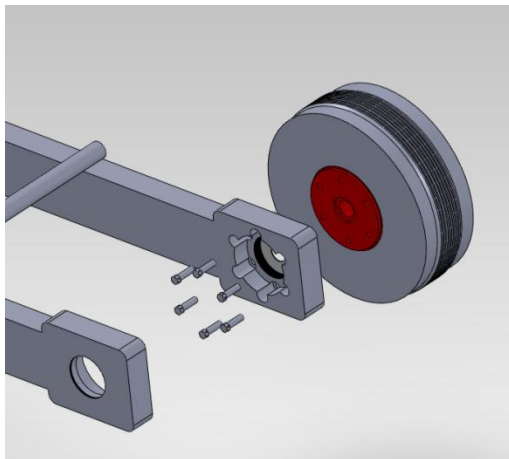


Figura 3.23 – Fixação do motor na escora

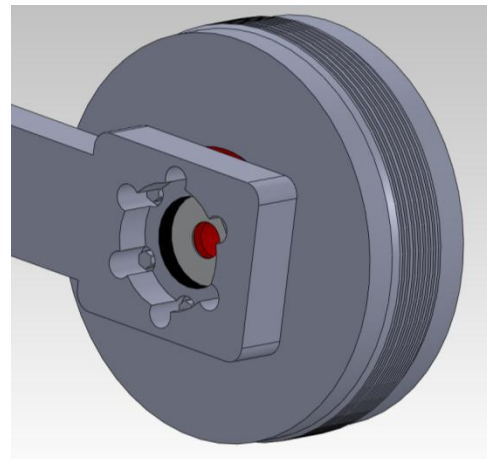


Figura 3.24 – Motor aparafusado na escora

Após a fixação do motor, colocam-se os rolamentos nos seus devidos lugares (Figura 3.25) e deve-se segurar no suporte de disco e no disco, de forma a conseguir-se fazer passar o veio. A parte estriada do mesmo deve passar pelo centro do motor, como se pode ver na Figura 3.26. De seguida, aparafusam-se os rolamentos e o suporte do dico de travão ao veio.

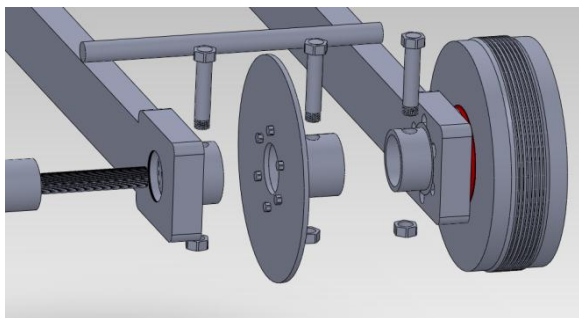


Figura 3.25 – Rolamentos posicionados para receberem o eixo

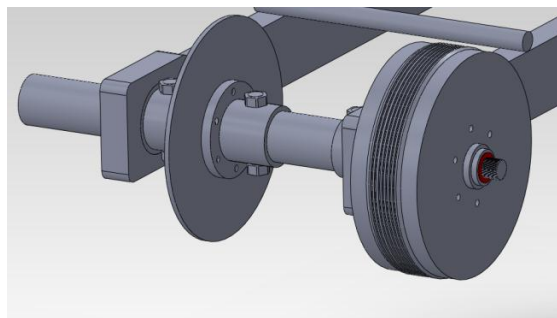


Figura 3.26 – Eixo estriado a passar pelo centro do motor

De seguida, colocam-se as mangas de eixo (Figura 3.27 e Figura 3.28), que têm como função possibilitarem a fixação das rodas e transmitirem a potência do motor para as mesmas. A manga de eixo do lado do motor (Figura 3.28) tem o centro estriado, de forma a poder transmitir o binário do motor para o veio.

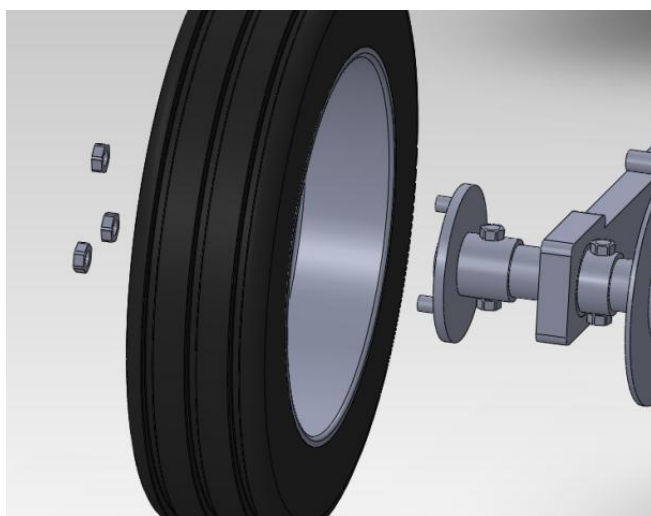


Figura 3.27 – Manga de eixo roda esquerda

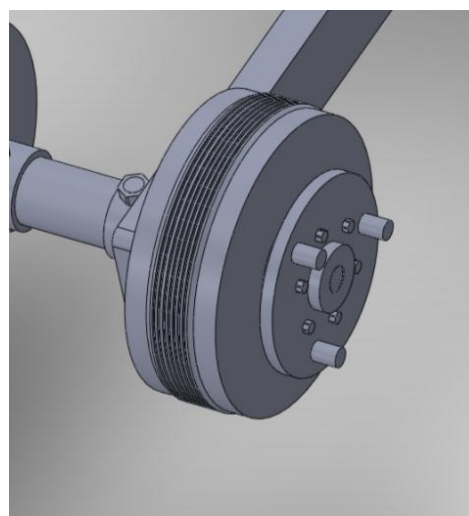


Figura 3.28 – Manga de eixo lado motor

Por fim, colocam-se as jantes e aparafusam-se. Pode ver-se na Figura 3.29 a montagem completa do eixo traseiro.

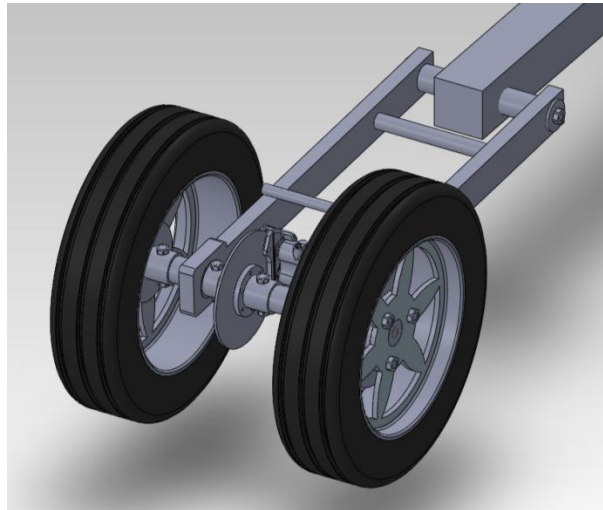


Figura 3.29 – Montagem com eixos, motor, disco e pinça de travão

3.7. Cálculo do eixo de rolamento

Tendo em conta que o triciclo motor tem braços de suspensão simples, o centro instantâneo de rotação (Figura 3.30) é o próprio ponto de rotação do braço. O centro de rolamento (Figura 3.30) da suspensão dianteira é definido pela interseção das duas retas que passam pelo ponto central de cada pneu, junto ao solo, e passam pela projeção frontal do centro instantâneo de rotação respetiva. No caso em estudo, o centro de rolamento encontra-se acima do solo. Quando o veículo se encontrar sob efeito de força centrífuga, ocorrerá o efeito *jacking*, dando origem a uma elevação da massa suspensa.

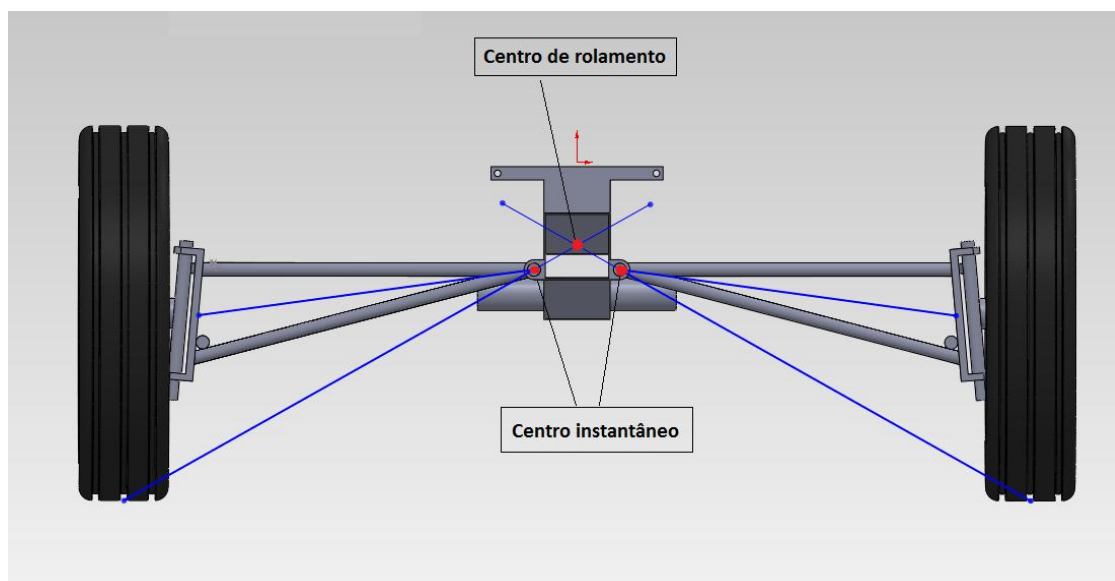


Figura 3.30 – Centro instantâneo de rotação e centro de rolamento

O centro de rolamento do eixo traseiro fica junto ao solo, a meio das rodas, pois é o único grau de liberdade que permite a rotação da carroçaria. O eixo de rolamento (Figura 3.31) é a reta que vai desde do centro de rolamento dianteiro até ao centro de rolamento traseiro.

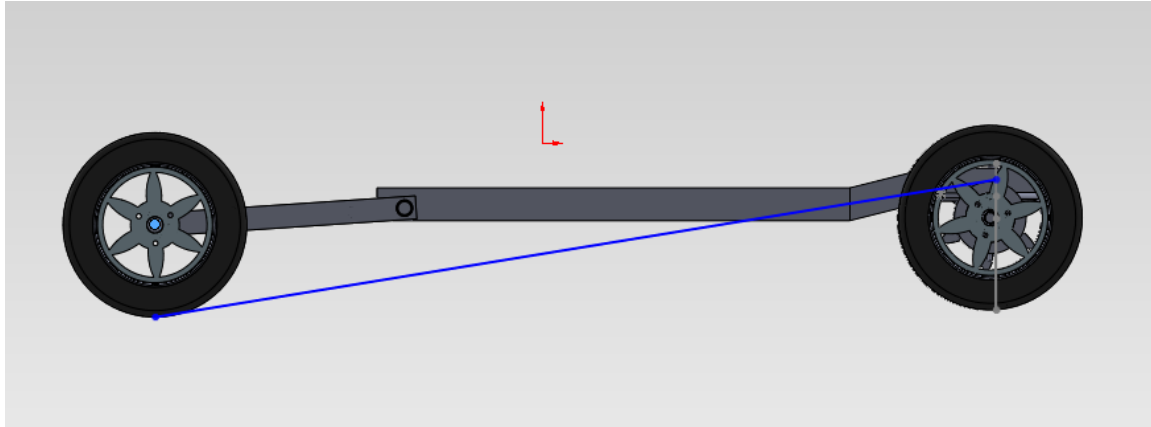


Figura 3.31 – Eixo de rolamento

O centro de rolamento dianteiro é bastante elevado, ao invés do centro de rolamento traseiro, que é bastante baixo. No entanto, existem sistemas onde o centro de rotação pode, inclusive, ficar abaixo do solo, como se pode ver no exemplo da Figura 3.32, o que é ainda pior. Dado que o eixo de rolamento é mais elevado à frente e que a largura de vias do eixo dianteiro é igualmente maior, interessará colocar as grandes massas, como as baterias, o mais à frente possível.

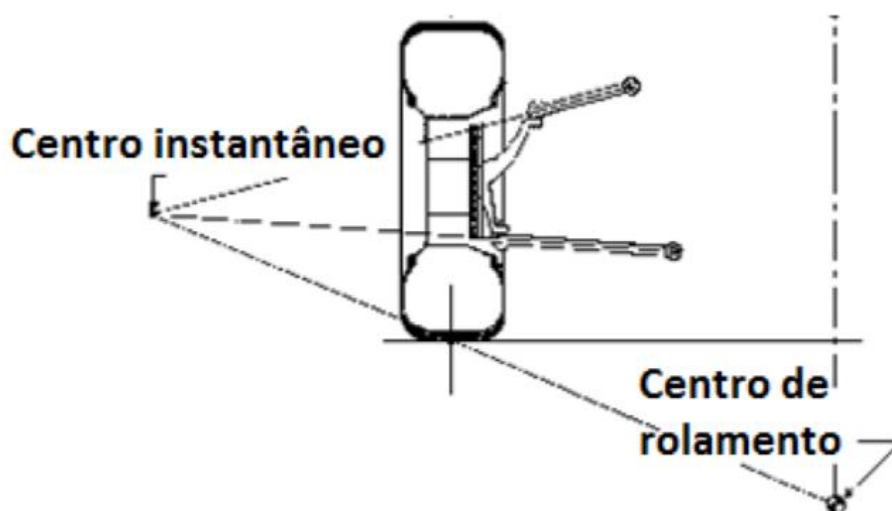


Figura 3.32 – Exemplo de centro de rotação abaixo do solo [33]

3.8. Sistema de direção

Para o sistema de direção (Figura 3.33), foi estudada a geometria de *ackermann*. Fez-se um desenho esquemático do triciclo (Figura 3.34), em que as rodas foram representadas por um segmento de reta. Colocou-se esse segmento de reta em duas posições. A primeira posição é a que representa o sistema de direção a realizar uma curva de raio infinito (segmento de reta paralelo ao comprimento do veículo) e a segunda posição representa o sistema de direção realizando a curvatura máxima (segmento de reta perpendicular ao raio da curva). Para a curvatura máxima (raio de curva de 5 m), colocou-se o centro da curva a uma distância de 5 m do centro do eixo traseiro do veículo e fizeram-se passar duas retas pelo centro das rodas. Como resultado disso, pode-se verificar que o ângulo formado entre os segmentos de reta que representam as rodas e o plano vertical central do veículo são diferentes. É aí que entra a geometria de *ackermann* (Figura 3.35). Fez-se um desenho básico da geometria de *ackermann* e foi-se alterando os diversos comprimentos dos tirantes que compõem o sistema de direção, até se chegar aos seguintes resultados

1. Quando o carro vai em frente e passa por buracos, lombas, ou qualquer elemento que faz oscilar o braço de suspensão, as rodas mantêm um ângulo de convergência nulo.
2. Quando o carro executa a curvatura máxima de 5m de raio, o erro de paralelismo é igual a 4°.

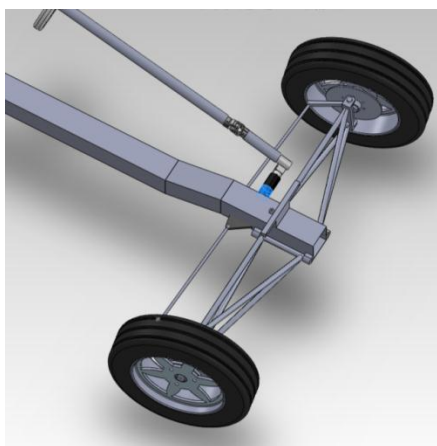


Figura 3.33 – Sistema de direção

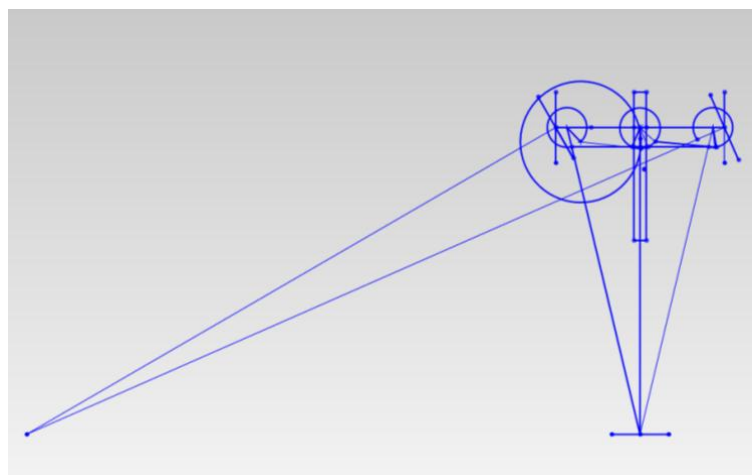


Figura 3.34 – Esquema direção do triciclo e do raio de curvatura máximo

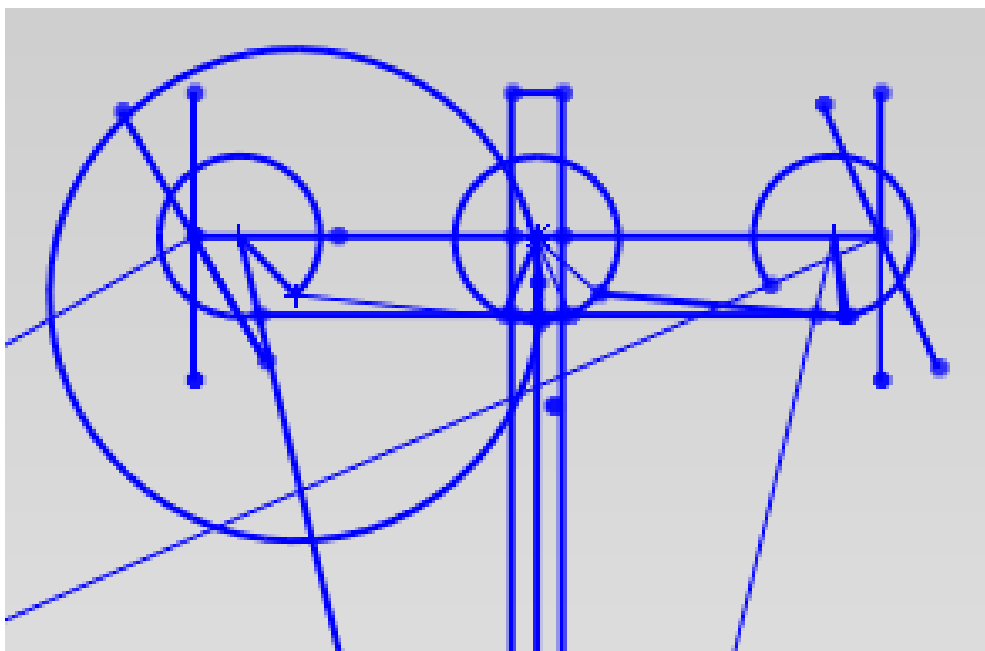


Figura 3.35 – Esquema da direção usando geometria *ackermann*

3.9. Distribuição dinâmica do peso e forças atuantes

Para se calcularem as forças que atuam no sistema suspensão/amortecedor, é necessário proceder ao cálculo do centro de gravidade do veículo, bem como determinar a transferência de massas devida às acelerações longitudinais e laterais. Na Tabela 3.1, pode-se ver a disposição das diversas massas.

Tabela 3.1 – Massas e posição dos componentes em relação a origem do referencial					
Componente	Massas suspensas e não suspensas [kg]	Massas suspensas [kg]	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo X	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo Y	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo Z
Farolins, piscas	1+0.5	1+0.5	-280	0	600
Amortecedor traseiro	3	3	250	0	450

Projeto de um triciclo elétrico baseado num planador elétrico

Componente	Massas suspensas e não suspensas [kg]	Massas suspensas [kg]	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo X	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo Y	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo Z
Motor, eixo traseiro, Jantes, pneus, disco e pinça, flanges	15+3+20+6+1.5+1	0	0	-200	285
Escora	30	15	390	0	282
Amortecedor traseiro	3	3	250	0	450
Baterias, cabelagem	75	75	583	150	400
Controlador	3	3	300	300	400
Condutor, cinto de segurança, banco	75+2+3	75+2+3	1105	300	275
Passageiro, cinto de segurança, banco	75+2+3	75+2+3	1105	-300	275
Carcaça	60	60	1150	0	450
Volante	2	2	1450	300	750
Espelhos	1	1	1930	0	885
Painel de controlo (PDA)	1	1	1950	0	600
Chassis	10	10	1420	0	330

Projeto de um triciclo elétrico baseado num planador elétrico

Componente	Massas suspensas e não suspensas [kg]	Massas suspensas [kg]	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo X	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo Y	Distância ao ponto de origem do referencial [mm] Eixo Z
Sistema de pedais	1,5	1,5	2110	300	400
Faróis dianteiros	2	2	2250	0	700
Coluna de direção	5	5	1934	50	415
Amortecedores dianteiros	6	6	2350	0	320
Caixa de direção	4	4	2400	50	560
Tirantes sistema de direção	2	1	2430	0	370
Barra anti torção	2	2	2400	0	530
Braços de direção	20	10	2450	0	250
Jantes, cubo de roda, pneus, discos e pinças de travão, guarda-lamas	20+15+6+2+6	0	2563	0	300
Total	484,5	363			

Tabela 3.2 – Massas e percentagem de massa total nos eixos dianteiros e traseiro

Peso no eixo dianteiro [kg]	Peso no eixo traseiro [kg]	Percentagem do peso no eixo dianteiro [%]	Percentagem do peso no eixo traseiro [%]
214,6	269,9	44,3	55,7

Tabela 3.3 – Massas e percentagem de massa suspensa nos eixos dianteiros e traseiro

Peso no eixo dianteiro [kg]	Peso no eixo traseiro [kg]	Percentagem do peso no eixo dianteiro [%]	Percentagem do peso no eixo traseiro [%]
159,9	203,1	44	56

Tabela 3.4 – Massas não suspensa em cada roda

Roda do eixo dianteiro direita [kg]	Roda do eixo dianteiro esquerda [kg]	Roda do eixo traseiro direita [kg]	Roda do eixo traseiro esquerda [kg]
27,3	27,3	33,4	33,4

A partir das posições e massas dos componentes, podemos calcular a posição do centro de massa $[h_{CG}]$, que é obtido pela fórmula:

$$X_{cg} = \frac{\sum_i^n x_i m_i}{\sum_i^n m_i} \quad Y_{cg} = \frac{\sum_i^n y_i m_i}{\sum_i^n m_i} \quad Z_{cg} = \frac{\sum_i^n z_i m_i}{\sum_i^n m_i}$$

O centro de gravidade da massa total $[h_{cg}]$ é o ponto X;Y e Z (1135,3;5,3;334,74)

O centro de gravidade da massa suspensa $[h_{cgs}]$ é o ponto X,Y e Z (1079;31,5;369,8)

Pode ver-se nas Figura 3.36 e na Figura 3.37 o centro de massa suspensa representado por um ponto vermelho.

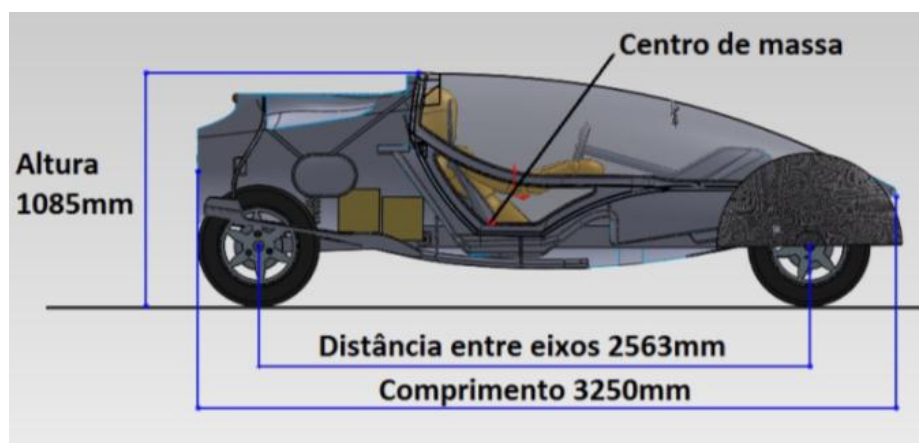


Figura 3.36 – Centro de massa (vista lateral)

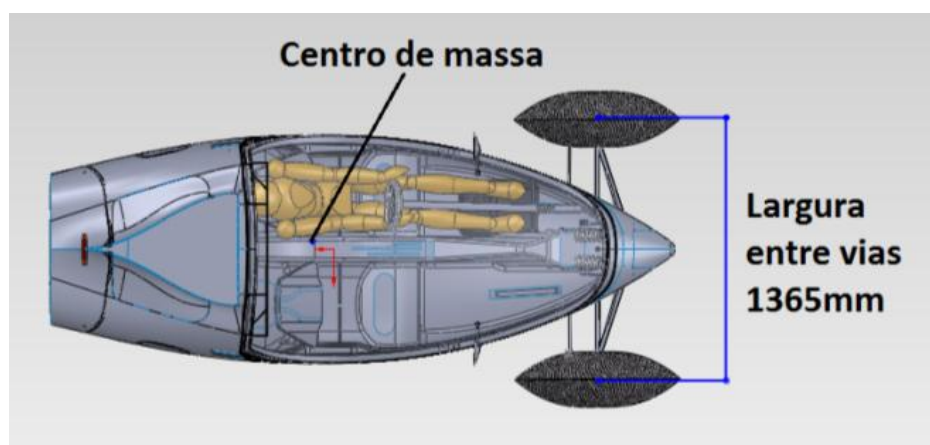


Figura 3.37 – Centro de massa (vista de topo)

Para o cálculo das transferências de peso, organizou-se a Tabela 3.5 com os parâmetros necessários.

Tabela 3.5 – Parâmetros de entrada para os cálculos das transferências de massa longitudinal e lateral		
Parâmetro	Valor	Símbolo
Fração da massa suspensa do eixo dianteiro [%]	44	m_{pd}
Fração da massa suspensa do eixo traseiro [%]	56	m_{pt}
Massa total suspensa [kg]	363	M

Parâmetro	Valor	Símbolo
Distância entre eixos [mm]	2563	d_{ee}
Largura entre vias do eixo dianteiro [mm]	1365	l_{evd}
Largura entre vias do eixo traseiro [mm]	460	l_{evt}
Altura do centro de gravidade da massa suspensa [mm]	369,8	h_{cg}
Aceleração longitudinal [m/s^2]	9,81	A
Aceleração lateral [m/s^2]	9,81	a_l

3.9.1. Transferência de peso longitudinal

A transferência máxima de massa longitudinal que ocorre quando o condutor altera a velocidade do veículo, acelerando ou desacelerando ao máximo, sendo que a aceleração e desaceleração máxima considerada no projeto é de 1G, pode ser calculada de acordo com a equação 2.2, por:

$$\Delta_{\text{longitudinal}} = \frac{m \cdot a \cdot h_{cg}}{d_{ee}} = \frac{363 \text{kg} \cdot 9,81 \text{m/s}^2 \cdot 369,8 \text{mm}}{2563 \text{mm}}$$

$$\Delta_{\text{longitudinal}} = 513,8 \text{N} = 52,4 \text{kg} = 26,2 \text{kg/roda}$$

3.9.2. Transferência de peso lateral no eixo dianteiro

A transferência máxima de massa lateral no eixo dianteiro que ocorre devido à aceleração centrípeta máxima de 1G (aceleração centrípeta máxima considerada no projeto), quando o veículo entra em curva, pode ser calculada de acordo com a equação 2.3, por:

$$\Delta_{\text{lateral eixo dianteiro}} = \frac{m_{ed} \cdot a_l \cdot h_{cg}}{l_{evd}} = \frac{159,9 \text{kg} \cdot 9,81 \text{m/s}^2 \cdot 369,8 \text{mm}}{1365 \text{mm}}$$

$$\Delta_{\text{lateral eixo dianteiro}} = 424,9 \text{N} = 43,3 \text{kg}$$

3.9.3. Transferência lateral de peso no eixo traseiro

A transferência máxima de massa lateral no eixo traseiro que ocorre devido à aceleração centrípeta máxima de 1G (aceleração centrípeta máxima considerada no projeto), quando o veículo entra em curva, pode ser calculada de acordo com a equação 2.3, por:

$$\Delta lateral \text{ eixo traseiro} = \frac{m_{et}.a_l.h_{cg}}{l_{evt}} = \frac{203,1kg.9,81m/s^2.369,8mm}{460mm}$$

$$\Delta lateral \text{ eixo traseiro} = 1601,8N = 163,3kg$$

3.9.4. Rotação da carroçaria

Após se ter calculado as transferências de massa, analisou-se a rotação da carroçaria. Para efeitos de análise, admitiu-se a rotação máxima, que ocorre quando uma suspensão se encontra no seu comprimento máximo (esticada) e a outra no seu comprimento mínimo (comprimada). Isso resulta nos braços de suspensão estarem nas posições extremas, como se pode ver na Figura 3.38.

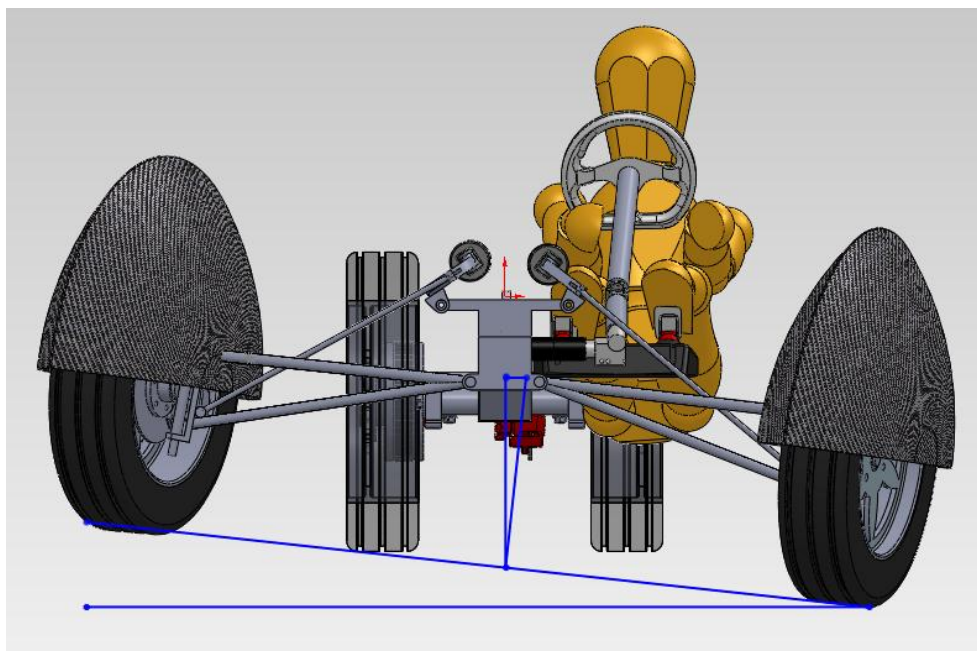


Figura 3.38 – Rotação da carroçaria

O ângulo máximo de rotação da carroçaria é igual ao ângulo máximo entre o pneu e a horizontal, sendo de 6,2 graus. A rotação da carroçaria desloca o centro de gravidade 38,7 mm para fora do centro da curva. Na Figura 3.39 pode visualizar-se o deslocamento da projeção do centro de massa no solo. A circunferência que representa a variação da projeção

do centro de massa no solo também foi deslocada para fora do centro da curva, ficando mais próxima do quadrilátero que representa o limite estável do triciclo. A circunferência de cor preta é aquela que representa a variação da projeção do centro de massa no solo após a rotação da carroçaria (Figura 3.39).

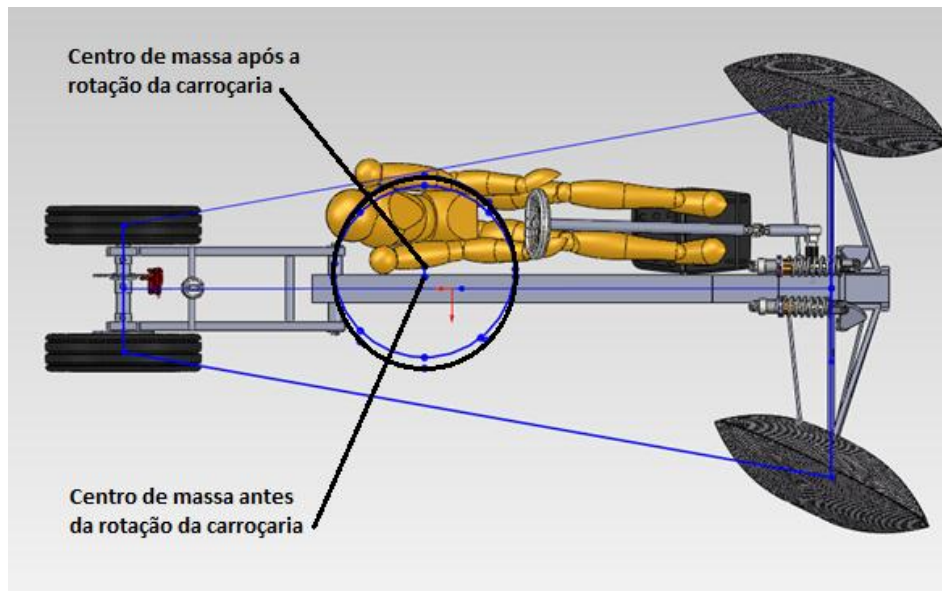


Figura 3.39 – Deslocamento do centro de gravidade

Após efetuada a análise da rotação da carroçaria, fez-se um esquema dos vários centros de massa possíveis de ocorrer, dependendo da situação em que se encontra o triciclo. Na Figura 3.40, pode verificar-se que o centro de massa permanece em qualquer situação dentro do quadrilátero, garantindo que o triciclo não irá capotar.

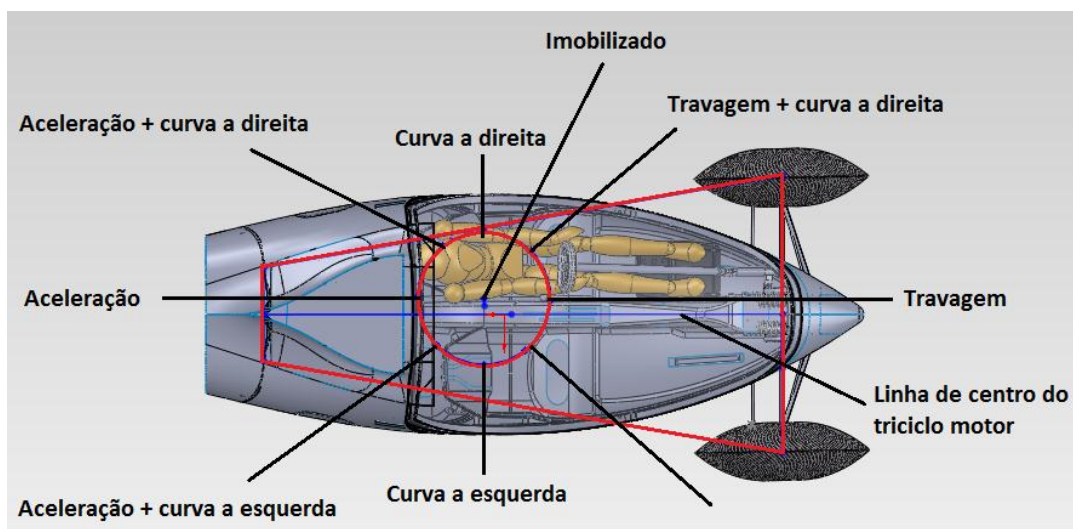


Figura 3.40 – Variação do centro de massa

3.10. Sistema de suspensão

Para o sistema de amortecedor dianteiro, foi desenhado um sistema tipo *push-rod* (Figura 3.41), sendo um sistema um pouco mais complexo do que os sistemas comuns. No entanto, revelou ser o mais apropriado para a geometria do triciclo, uma vez que este possui pouco espaço na zona dianteira. Esse sistema ainda apresenta vantagens a nível aerodinâmico, pelo facto de utilizar amortecedores longitudinais no interior do veículo, em vez de utilizar um sistema exterior à carroçaria, o que prejudicaria a aerodinâmica.

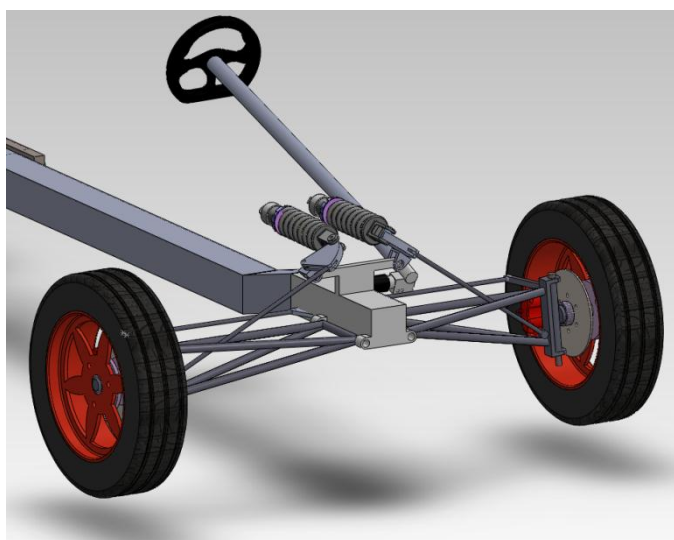


Figura 3.41 - Sistema de suspensão *push-rod*

3.10.1. Massa aplicada nas rodas

Para a escolha adequada da suspensão, é necessário saber qual a força crítica atuante nas rodas. Após ter calculado a transferência de massa, construiu-se a Tabela 3.6 com as massas referentes às diferentes situações possíveis em estrada.

Tabela 3.6 – Massa aplicada nas rodas nas diversas situações possíveis em estrada.				
	Roda frente direita [kg]	Roda frente esquerda [kg]	Roda trás direita [kg]	Roda trás esquerda [kg]
Distribuição de massa suspensa	72,5	87,3	91,2	110,9

	Roda frente direita [kg]	Roda frente esquerda [kg]	Roda trás direita [kg]	Roda trás esquerda [kg]
Distribuição da massa na travagem	98,3	113,5	66	84,8
Distribuição da massa em curva a esquerda	94,2	65,7	173,8	29,3
Distribuição da massa em curva a direita	50,8	109	10,5	192,6
Distribuição da massa na travagem em curva a esquerda	120,4	91,9	147,6	3,1
Distribuição da massa na travagem em curva a direita	50,9	109	10,5	192,6
Distribuição da massa na aceleração	46,4	61,1	118,4	137,1
Distribuição da massa na aceleração em curva a direita	24,7	82,8	36,7	218,8
Distribuição da massa na aceleração em curva a esquerda	68	39,5	200	55,5

No caso do sistema de amortecimento dianteiro, é analisada a massa crítica em cada roda, visto o sistema ser independente. Quanto ao eixo traseiro, é analisada a massa máxima do conjunto, uma vez que as rodas são dependentes uma da outra.

Valor crítico frente: 120,4 kg

Valor crítico atrás (somatório eixo traseiro): 255,5 kg

O valor da massa máxima à frente, obtido numa travagem e em curva á direita, é de 120,4 kg (m_{roda}). O valor da massa máxima no eixo de trás, obtido numa aceleração e em curva á direita, é de 255,5 kg (m_{eixo}). No entanto, existe ainda um outro fator que pode aumentar a força atuante, que é o caso da roda passar num buraco. Para esse possível acontecimento, foi admitido um coeficiente de segurança de 1,3, de modo a dar uma margem de segurança. Considera-se então o valor de massa crítica atuante nas rodas dianteiras de 156,5 kg e, no eixo traseiro, de 332,1 kg.

3.10.2. Força aplicada ao tirante de suspensão

Após a obtenção da força máxima aplicada na roda e, analisando a Figura 3.42, podemos calcular a força de reação do tirante através da relação de momentos causados pela força da roda e pela força do tirante.

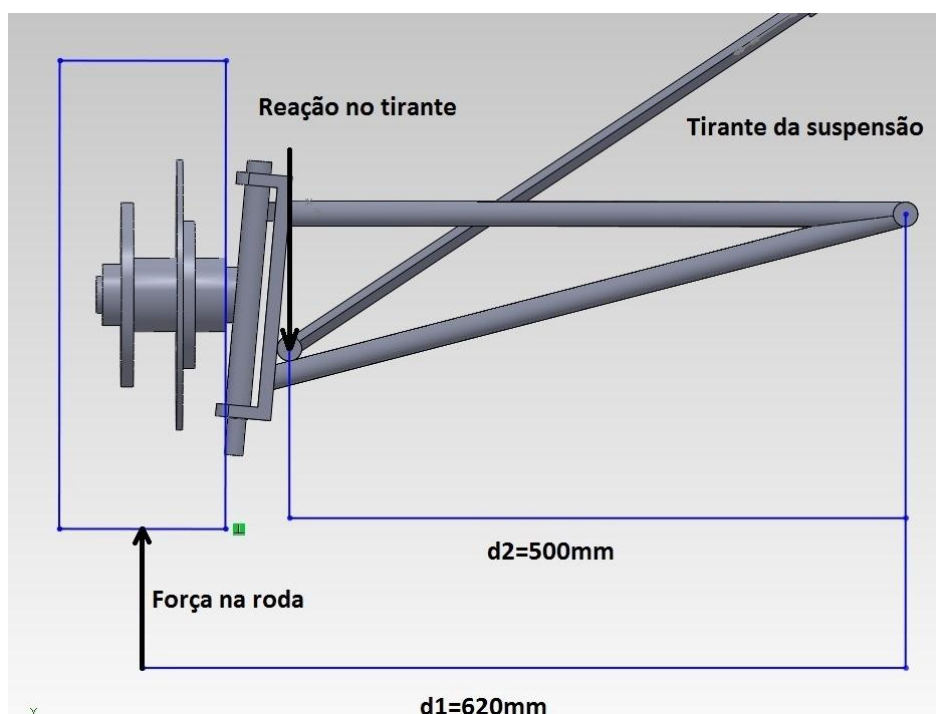


Figura 3.42 – Esquema da força na roda e da reação do tirante

O somatório dos momentos causado pela força da roda e pela força de reação do tirante é nulo, pelo que se pode escrever a seguinte equação:

$$\sum M = 0$$

$$F_r \cdot d_1 = F_t \cdot d_2 \quad (3.1)$$

Onde:

F_r - Força aplicada na roda [N];

d_1 - Braço da força aplicada na roda [mm];

F_t - Força de reação do tirante [N];

d_2 - Braço da força da reação do tirante [mm].

Substituindo na equação 3.1 F_r , d_1 , d_2 e F_t pelos valores das forças e distâncias respectivas, obtém-se a força aplicada no tirante.

$$156,5kg \cdot 9,81N \cdot 620mm = F_t \cdot 500mm$$

$$F_t = 1903,8N$$

3.10.3. Força aplicada ao basculante

O tirante está inclinado em relação à sua força normal, fazendo com que a força aplicada no basculante seja apenas uma componente da mesma. Pode-se ver o ângulo formado na Figura 3.43.

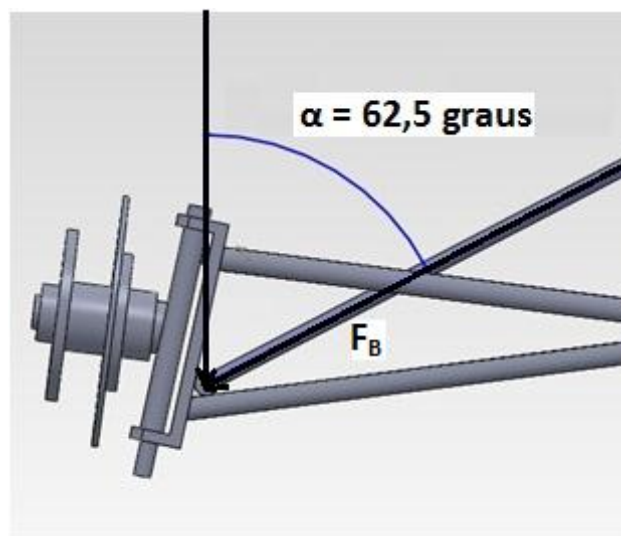


Figura 3.43 – Ângulo 1 formado entre a força aplicada no tirante e a direção do tirante visto de frente

A força aplicada no basculante é obtida pela equação:

$$F_b = \frac{F_t}{\cos \alpha} \quad (3.2)$$

Onde:

F_t - Força de reação do tirante [N];

F_b - Força aplicada no basculante [N];

α - Ângulo formado entre a força aplicada no tirante e a inclinação do tirante.

Substituindo na equação 3.2 F_t pela força aplicada no tirante anteriormente calculada e α pelo ângulo formado entre a força aplicada no tirante e a inclinação do tirante, obtém-se a força aplicada no basculante.

$$F_b = \frac{1903,8}{\cos 62,5}$$

$$F_b = 4123N$$

3.10.4. Força aplicada ao amortecedor dianteiro

O amortecedor e a mola estão montados na direção longitudinal do veículo e, para que os mesmos sejam atuados, é necessário um sistema que permita a transmissão da força vinda da roda até ao amortecedor. Pode-se ver na Figura 3.44 a existência de um tirante que liga o braço ao basculante, que por sua vez está ligado ao amortecedor. O basculante roda em torno de um pino (Figura 3.45), transmitindo assim a força do tirante para o amortecedor, e vice-versa.

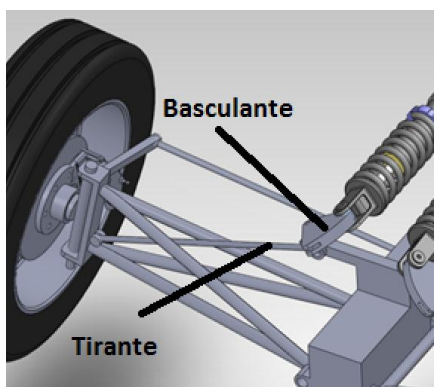


Figura 3.44 – Sistema de suspensão

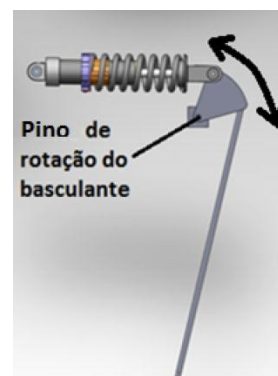


Figura 3.45 – Esquema de ligações da suspensão

Pode ser visualizado na Figura 3.46 um esquema dos ângulos e das forças atuantes no basculante. Na compressão máxima, o ângulo do tirante em relação à força normal do basculante é de 47,6 graus e o ângulo formado entre o amortecedor e a força normal do basculante é 0 graus.

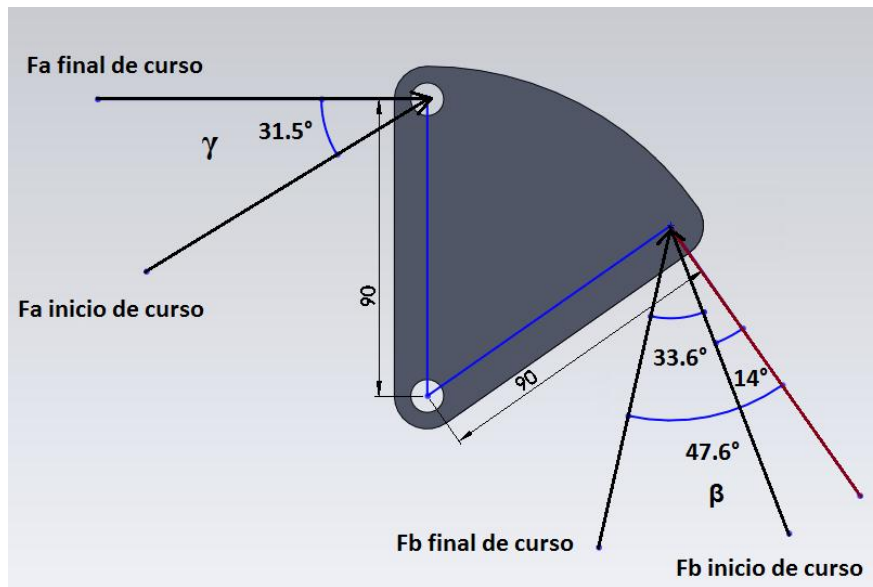


Figura 3.46 – Esquema dos ângulos das forças atuantes no basculante

Analisando os momentos das forças atuantes no basculante em relação ao ponto de rotação do basculante e de modo a que haja conservação do equilíbrio dos momentos, pode-se escrever a seguinte equação:

$$F_b \cdot l \cdot \cos\beta = F_a \cdot L \cdot \cos\gamma \quad (3.3)$$

Onde:

F_b - Força aplicada no basculante [N];

L - Distância entre o pino de rotação e a força aplicada pelo tirante [mm];

l - Distância entre o pino de rotação e a força aplicada pelo amortecedor [mm];

F_a - Força aplicada no amortecedor [N];

$\cos\beta$ - Ângulo formado entre a direção da força aplicada pelo tirante no basculante e a força normal de reação do basculante.

Cos γ - Ângulo formado entre a direção da força aplicada pelo amortecedor no basculante e a força normal de reação do basculante.

Substituindo na equação 3.3 **F_b**, **L**, **I**, **F_a**, **Cos β** e **Cos γ** pelos valores das forças, distâncias e ângulos respectivos, obtém-se a força máxima aplicada no amortecedor.

$$4202,4 * 0,09 * \cos 47,6 = F_{afinal} \cdot 0,09 \cdot \cos 0$$

$$F_{afinal} = \frac{4123 * 0,09 * \cos 47,6}{0,09 * \cos 0}$$

$$F_a = 2780,1 \text{ N}$$

3.10.5. Deslocamento do amortecedor e constante de mola

Através de um conjunto de fórmulas trigonométricas, relacionou-se o movimento vertical da roda, o movimento do tirante, a rotação do basculante e o deslocamento do amortecedor. Introduziram-se essas fórmulas numa folha de cálculo do Excel, obtendo o deslocamento do amortecedor em relação ao movimento vertical da roda. Apresenta-se, de seguida, o gráfico (Figura 3.47), no qual se pode visualizar o deslocamento do amortecedor em relação ao movimento vertical da roda. É de realçar que a geometria final do basculante anteriormente apresentada foi elaborada simultaneamente com a realização desta folha de cálculo. O objetivo principal deste estudo foi tornar a suspensão progressiva. Esse tipo de suspensão torna o veículo mais confortável e mais seguro, uma vez que, para pequenas oscilações, o sistema de suspensão será menos duro e para cargas mais elevadas, como em caso de curvas a alta velocidade, o sistema de suspensão tornar-se-á mais duro, comparativamente a um sistema de suspensão linear.

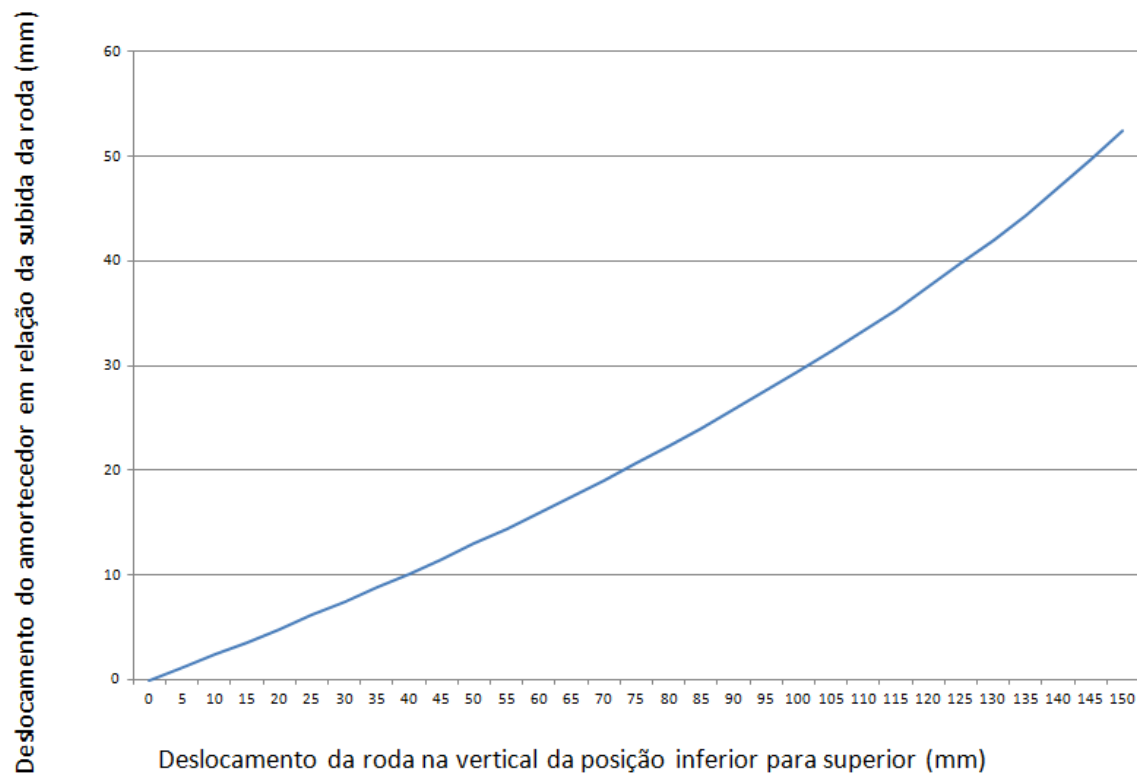


Figura 3.47 – Deslocamento vertical da roda em relação ao deslocamento do amortecedor

A roda tem um deslocamento vertical de 150 mm e o amortecedor tem um deslocamento de 52 mm. Após a obtenção do deslocamento, pode-se calcular a constante de mola, de acordo com a equação 2.1, por:

$$F_a = K \cdot x$$

Substituindo na equação, F_a pela força aplicada no amortecedor e x pelo valor do deslocamento máximo, obtém-se K , constante elástica necessária para as condições da suspensão dianteira.

$$K = \frac{F_a}{x}$$

$$K = \frac{2780,1}{52}$$

$$K = 53,5 \text{ N/m}$$

3.10.6. Força aplicada ao amortecedor traseiro

O sistema de suspensão traseiro (Figura 3.48) foi desenhado de modo a funcionar na vertical. Desenhou-se uma estrutura de suporte, composta por quatro varões, fixados nas zonas mais resistentes da carroçaria.

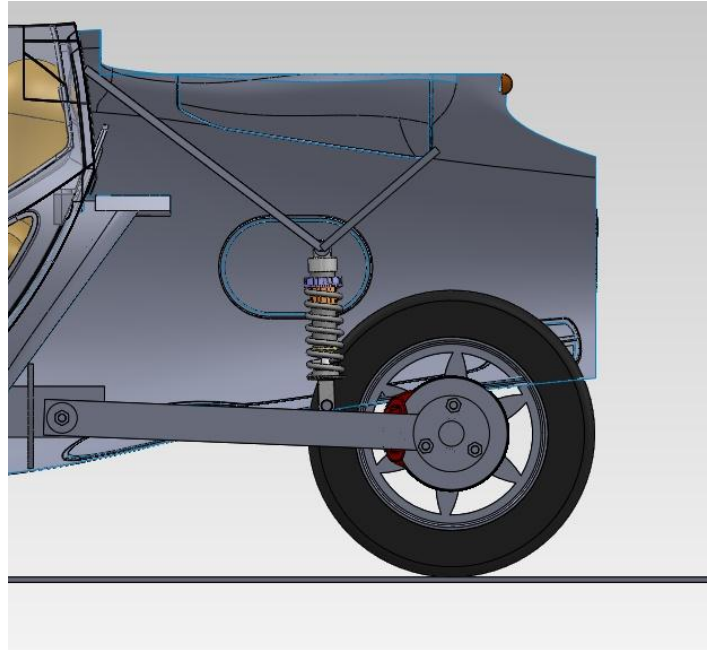


Figura 3.48 – Amortecedor traseiro com estrutura de suporte

A força máxima aplicada no conjunto das rodas do eixo traseiro é 332,1kg (Tabela 3.6). Podem se visualizar, na Figura 3.49, os braços dos momentos causados pela força aplicada no conjunto de rodas e pela força de reação do amortecedor.

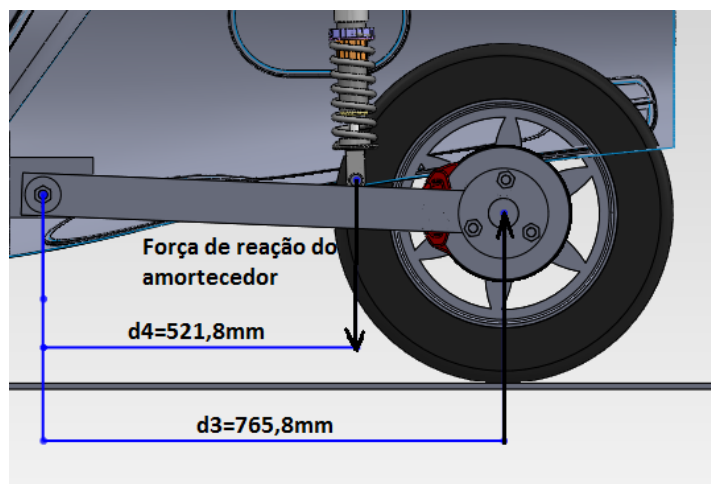


Figura 3.49 – Esquema de forças entre a escora e o amortecedor traseiro

Analisando a Figura 3.49, conclui-se que o somatório dos momentos causados pela força aplicado no conjunto de rodas do eixo traseiro e pela força de reação do amortecedor é nulo, pelo que se pode escrever a seguinte equação.

$$\sum M = 0$$

$$F_{at} \cdot d_3 = F_{rt} \cdot d_4 \quad (3.4)$$

Onde:

F_{at} - Força aplica no conjunto das rodas do eixo traseiro [N];

d_3 - Braço da força aplicada no conjunto das rodas do eixo traseiro roda [mm];

F_{rt} - Força de reação do amortecedor traseiro [N];

d_4 - Braço da força da reação do amortecedor traseiro [N].

Substituindo na equação 3.1 F_{rt} , d_3 , d_4 e F_{at} pelos valores das forças e distâncias respetivas, obtém-se a força de reação do amortecedor traseiro.

$$332,1kg \cdot 9,81N \cdot 778mm = F_{rt} \cdot 522mm$$

$$F_{rt} = 4792,7N$$

3.10.7. Deslocamento do amortecedor traseiro e constante de mola

O deslocamento do eixo traseiro está esquematizado na Figura 3.50. A roda traseira tem um deslocamento vertical de 150 mm e o amortecedor tem um deslocamento de 103mm.

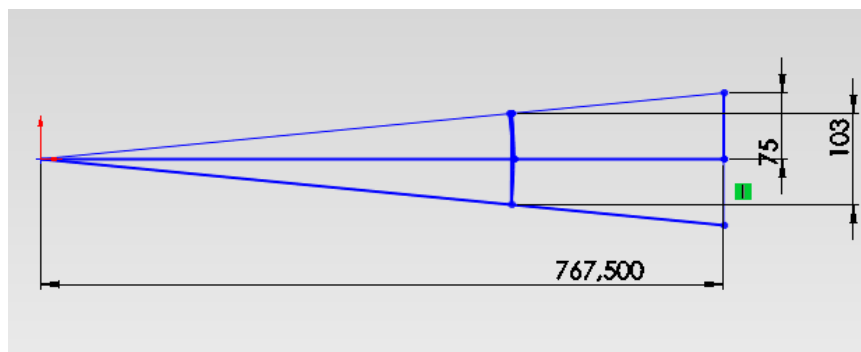


Figura 3.50 – Esquema do deslocamento do amortecedor traseiro

Pode se ver o veículo com os amortecedores na posição normal de operação na Figura 3.51 e o veículo na altura mínima na Figura 3.52.

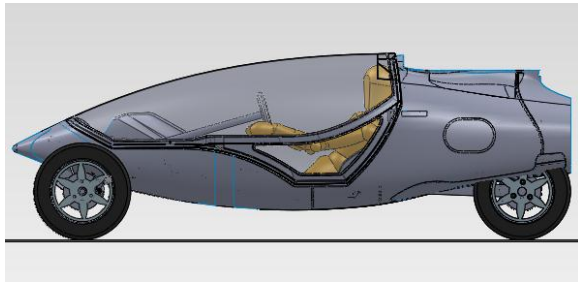


Figura 3.51 – Veículo na altura normal de operação com o condutor.

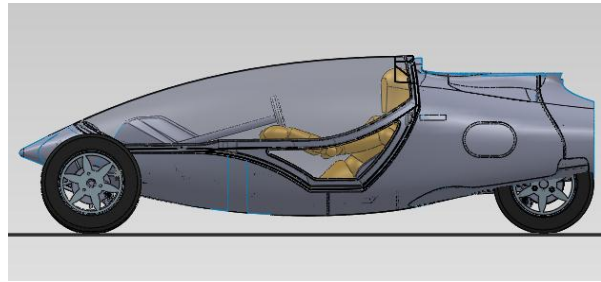


Figura 3.52 – Veículo na altura mínima

Sabendo o valor do deslocamento total e o valor da força máxima aplicada no amortecedor traseiro, pode-se calcular a constante de mola segundo a equação 2.1.

$$F_a = K \cdot x$$

Substituindo na equação, F_a pela força aplicada no amortecedor traseiro e x pelo valor do deslocamento obtém-se a constante K , constante elástica necessária para as condições da suspensão traseira.

$$K = \frac{4792,7}{103}$$

$$K = 46,5 \text{ N/mm}$$

3.11. Validação do espaço interior

Para validar o espaço interior, foi colocado um modelo tridimensional de humano tridimensional (Figura 3.53), com uma altura de 1.8m na posição do condutor. Este modelo foi obtido a partir de um *website* que disponibiliza modelos tridimensionais. [34]



Figura 3.53 – Validação do espaço com modelo humano tridimensional

3.12. Retrovisores, guarda-lamas, farolins e piscas

O retrovisor (Figura 3.54) tem a função de permitir ao condutor olhar para trás com facilidade e é obrigatório pela legislação portuguesa. Os guarda-lamas (Figura 3.55), além da função básica de proteger das projeções de lama, como o nome indica, também serve para diminuir o arrasto aerodinâmico, como se poderá verificar no capítulo 4. Podem-se ainda visualizar na Figura 3.56 os farolins e os piscas.

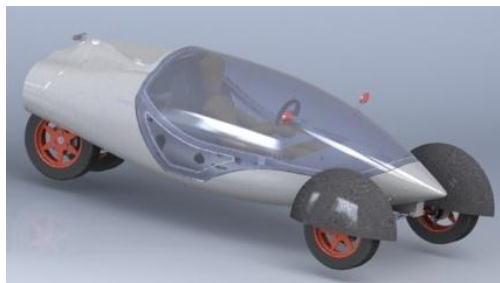


Figura 3.54 – Montagem com retrovisores

Figura 3.55 – Montagem com guarda-lamas

Figura 3.56 – Farolins e piscas

3.13. Sistema elétrico

Sendo o conceito em estudo um veículo elétrico, é imprescindível um sistema elétrico munido de baterias. A escolha dos componentes elétricos foi previamente realizada pela empresa Eurosportaircraft, produtora de planadores elétricos, visto a mesma pretender usar o máximo de componentes idênticos em ambos os projetos. As baterias utilizadas são de lítio-polímero, pelo facto de serem das que conseguem armazenar mais energia por unidade de volume e também de peso, o que é uma grande vantagem quando se pretende minimizar os consumos que estão diretamente ligados ao peso do veículo. Apresenta-se um gráfico na Figura 3.57 que compara várias tecnologias no que diz respeito a densidade energética.

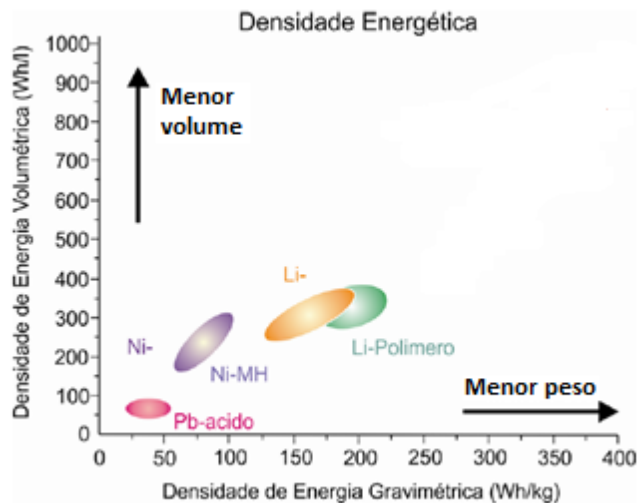


Figura 3.57 – Gráfico da densidade energética de diversos tipos de baterias [35]

Figura 3.58 – Célula de lítio-polímero

As baterias são compostas por 56 células (Figura 3.58) de 10 mm de espessura, 5,9mm de largura e 15,6 mm de comprimento.

Como configuração, optou-se pela criação de módulos de 4 células ligadas em paralelo e pela ligação destes módulos em série. Unindo as células em paralelo, aumenta-se a capacidade de carga da bateria e unindo os módulos em série, aumenta-se a tensão da bateria. Cada célula tem uma tensão nominal de 3,7V e uma capacidade de carga de 11Ah. Apresenta-se na Figura 3.59 um esquema de ligação em série e outro em paralelo.

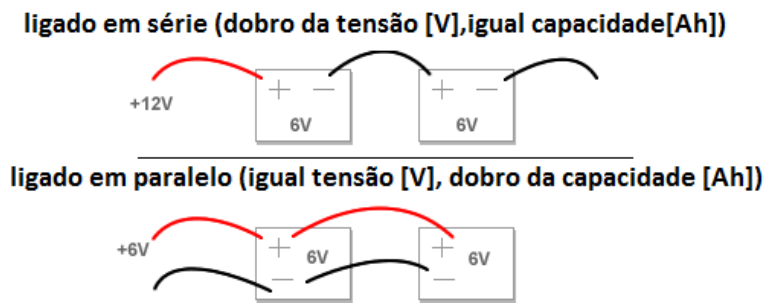


Figura 3.59 – Esquema de ligação em série e em paralelo [36]

3.13.1. Determinação da energia da bateria

Sendo conhecido o número de módulos e o valor da tensão nominal de cada um deles, pode-se calcular a tensão nominal da bateria pela equação:

$$T_b = T_m * N_m$$

3.5

Onde:

T_b - Tensão nominal da bateria [V];

T_m - Tensão nominal de cada módulo [V];

N_m - Numero de módulos.

Substituindo na equação os valores de **T_m** e **N_m** pelos valores da tensão e pelo número de módulos respetivos, obtém-se o valor da tensão da bateria.

$$3.7 * 14 = 51.8 \text{ V}$$

Sabendo também que cada um dos 14 módulos é composta por 4 células, podemos calcular a carga nominal de cada módulo através da equação:

$$C_m = N_c * C_c \tag{3.6}$$

Onde:

C_m - Carga nominal de cada módulo [Ah];

N_c - Número de células em cada módulo;

C_c - Carga nominal de cada célula [Ah].

Substituindo na equação 3.6 o valor de N_c pelo número de células e C_c pela carga de cada uma delas, obtém-se a carga nominal de cada módulo.

$$4 \times 11 = 44 \text{ Ah.}$$

A energia que a bateria consegue armazenar é obtida pela equação:

$$E_b = C_m * T_b$$

3.7

Onde:

E_b - Energia armazenada numa bateria [Wh].

C_m - Carga nominal de cada módulo [Ah];

T_b - Tensão nominal da bateria [V];

Substituindo as variáveis da equação pelos valores anteriormente calculados, obtém-se a energia armazenada numa bateria.

$$51,8 \times 44 = 2280 \text{ Wh}$$

Sabendo que no veículo são usadas 4 baterias, pode-se calcular a energia total do conjunto pela equação:

$$E_t = E_b * N_b \tag{3.8}$$

Onde:

E_t - Energia armazenada no conjunto de baterias [Wh];

E_b - Energia armazenada numa bateria [Wh];

N_b - Número de baterias.

Substituindo as variáveis na equação pelos valores calculados anteriormente obtém-se a energia armazenada no conjunto das 4 baterias

$$2279,9 * 4 = 9120 \text{ Wh}$$

Após os cálculos efetuados, desenhou-se o esquema de ligação das células (Figura 3.60), de modo a acondicionar as mesmas numa caixa, conjuntamente com o BMS (*Battery Management System*) e o sensor de corrente. Desenhou-se também a caixa (Figura 3.61) e as células (Figura 3.62).

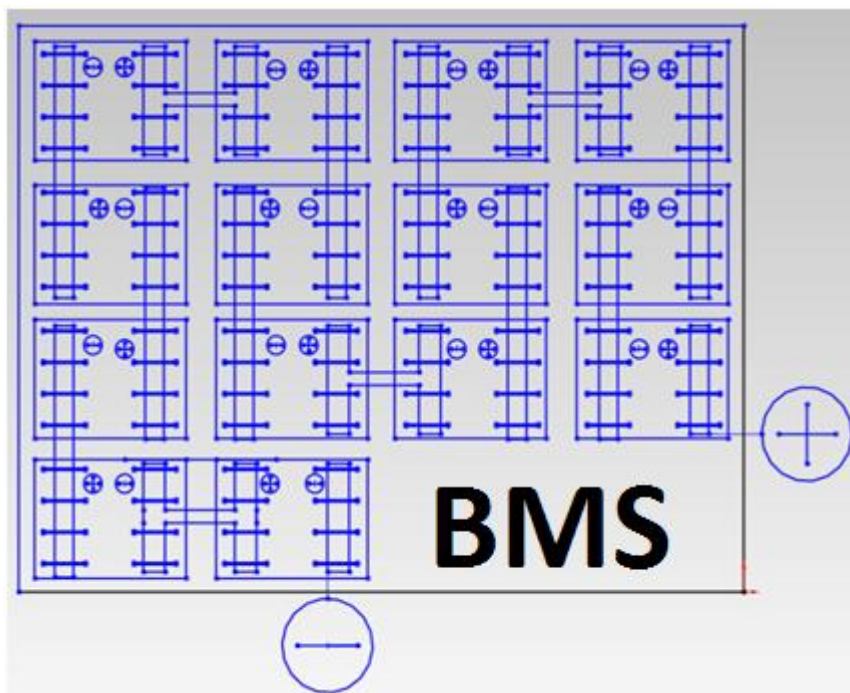


Figura 3.60 – Esquema de ligação das células

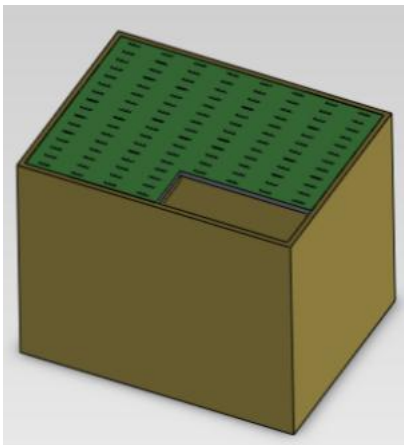


Figura 3.61 – Desenho tridimensional da bateria

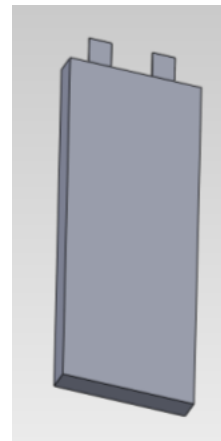



Figura 3.62 – Desenho da célula

Pode-se ver na Figura 3.63 a posição das baterias atrás dos bancos, junto à parte inferior da fuselagem.



Figura 3.63 – Localização das baterias

Organizou-se na Tabela 3.7 uma lista dos vários componentes do sistema elétrico, explicando-se a função de cada um.

Tabela 3.7 – Componentes do sistema elétrico	
Componente	Função
	<p>BMS - Serve para monitorizar as células quando estão a ser carregadas ou descarregadas. Ele verifica a tensão de todas as séries da bateria e, se alguma não estiver dentro dos parâmetros normais, interrompe a ligação dessa série, de modo a não danificar o resto da bateria, mas continuando a gerir as restantes séries.</p>

Componente	Função
	Carregador de bateria – serve para carregar as baterias quando as mesmas estão com a carga baixa.
	Sensor de corrente – serve para analisar a corrente de saída da bateria e enviar a informação registada para o BMS.
	Motor elétrico – serve para transformar a energia elétrica em mecânica. Ele transmite um binário que provoca o deslocamento do veículo.
	Células – É um componente responsável por armazenar energia elétrica, para transmiti-la ao sistema elétrico quando necessário.
	LCD- Este ecrã é a interface pela qual podemos ver os vários dados relativos ao sistema elétrico, como a carga e autonomia da bateria e velocidade do veículo.
	Controlador – é o componente responsável por gerir a energia armazenada na bateria e enviar a quantidade correta ao motor, dependendo da posição do acelerador da temperatura das baterias e motores.

3.14. Desenho final do triciclo motor

Para finalizar este capítulo, foram colocadas algumas vistas do desenho do triciclo motor final, que podem ser visualizadas nas Figuras 3.65 3.66, 3.67 e 3,68.

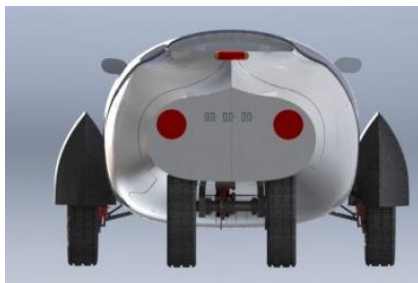


Figura 3.64 – Triciclo elétrico visto de trás

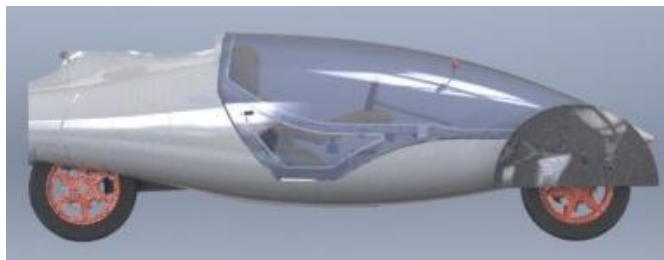


Figura 3.65 – Triciclo elétrico, vista lateral

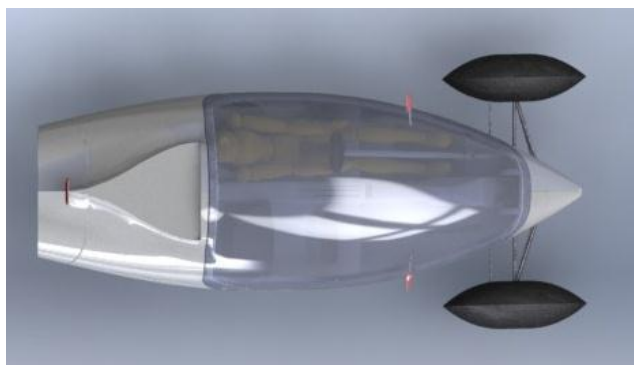


Figura 3.66 – Triciclo elétrico vista de cima

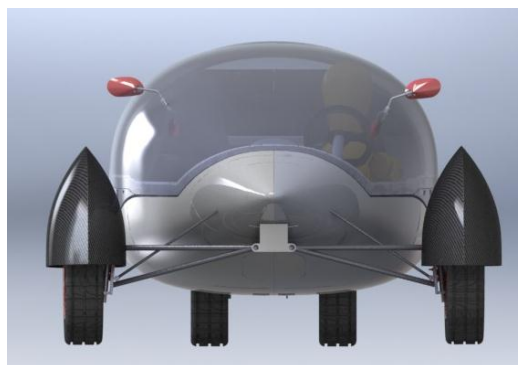


Figura 3.67 – Triciclo elétrico vista de frente

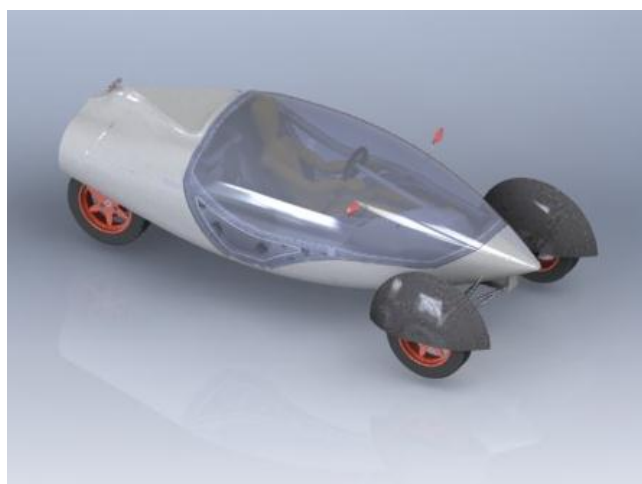


Figura 3.68 – Triciclo elétrico

CAPÍTULO 4 - Análise aerodinâmica

4.1. Construção do modelo simplificado

O desenho do modelo tridimensional do corpo do planador fornecido pela empresa Eurosportaircraft estava construído com superfícies sobrepostas que não eram utilizáveis na análise aerodinâmica. Por esse motivo, foi necessário redesenhar um modelo tridimensional simplificado. Foram então esboçadas, em torno do corpo central, diversas linhas de contorno, uniformemente espaçadas, usando a vista de secção de corte em todo o comprimento do veículo, num total de 22 secções, como pode ser visualizado na Figura 4.1

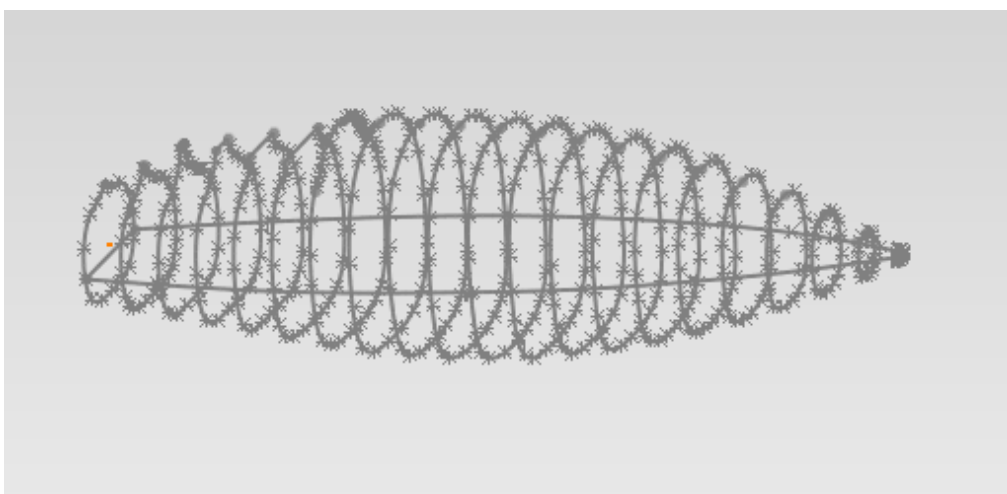


Figura 4.1 – Esboço das linhas de contorno do desenho do modelo tridimensional.

A partir deste esboço, foi gerado o corpo central (Figura.4.2) a partir do qual se foram acrescentando os diversos componentes previamente desenhados e armazenados sob forma de sólidos, originando o modelo para analisar (Figura 4.3).

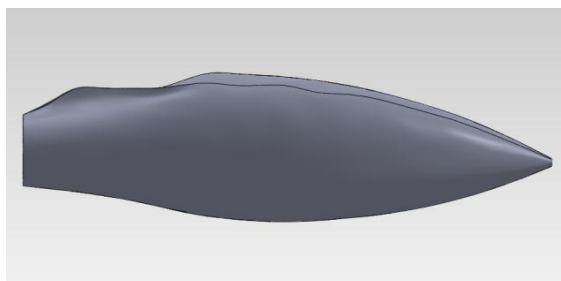


Figura 4.2 – Corpo central

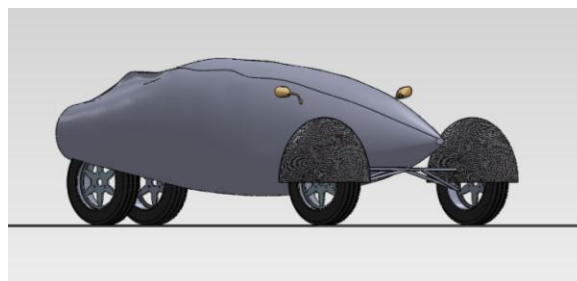


Figura 4.3 – Modelo para análise aerodinâmica

4.2. Análise aerodinâmica

Antes de mais, é preciso esclarecer que o estudo aerodinâmico é uma aproximação à realidade, visto o modelo ser simplificado e os diversos elementos, tais como as rodas, serem estáticos ao longo da simulação.

Para iniciar a análise aerodinâmica, foi necessário ativar o suplemento *flow simulation* do programa *solidworks*. Após o suplemento estar ativado, foi criado um estudo de projeto, escolhendo um nome e inserindo todos os parâmetros exigidos pelo *software*.

Parâmetros de entrada

1. O primeiro parâmetro a escolher é o sistema de unidades com o qual queremos trabalhar. O sistema escolhido foi o sistema de unidades internacional (SI)
2. De seguida, seleciona-se o escoamento externo e turbulento.
3. Seleciona-se um eixo de referência e, neste caso, foi selecionado o eixo do **x**, referente à longitudinal do veículo, pois é o sentido que o fluido terá de percorrer.
4. Escolhe-se o tipo de fluido que, para o caso em estudo, é o ar à pressão atmosférica e à temperatura de 293.2K
5. De seguida, é selecionada a velocidade de escoamento do fluido. Para este estudo foi selecionado a velocidade máxima de 33m/s (120km/h)
6. Em seguida, escolheu-se a resolução dos resultados num intervalo de 1 até 8. Após alguns ensaios, verificou-se que a resolução número 4 seria a ideal, visto que o aumento de resolução produzia diferenças marginais e o tempo de ensaio era muito inferior. No caso de se utilizar a resolução máxima, constatou-se que demorava mais de 12h a efetuar a simulação e dava muitas vezes origem a erros, devido a insuficiência de memória RAM.
7. Após estes passos efetuados, executa-se o programa que prepara o sólido para ser analisado, segundo os parâmetros escolhidos. No entanto, ainda é necessário escolher um domínio (túnel de vento) adequado ao projeto. Esse domínio aparece sob forma de uma caixa, que é o local onde irá ocorrer a simulação, como pode ser visualizado na Figura 4.4

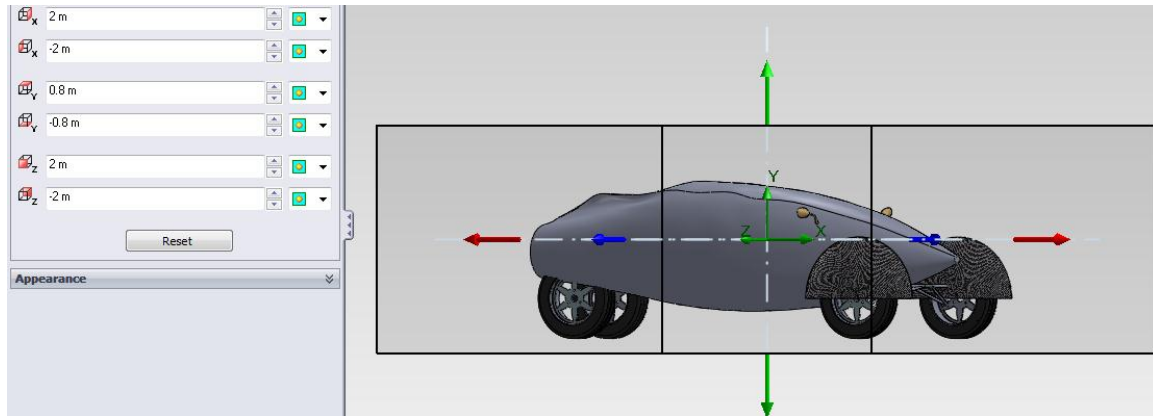


Figura 4.4 – Túnel de vento

Deve-se ainda inserir os objetivos de estudo, isto é, inserir os parâmetros que queremos que o *software* calcule. Neste caso, selecionou-se o arrasto aerodinâmico no eixo do X (longitudinal do veículo) e procedeu-se a diversos estudos.

Para as diversas análises, é preciso escolher quais as superfícies que queremos considerar. Para o estudo em questão, todas as superfícies foram consideradas.

Na primeira análise é possível ver as diferentes pressões que atuam nas superfícies do veículo. Pode-se ver a correspondência entre as pressões e as cores no gráfico na Figura 4.5.

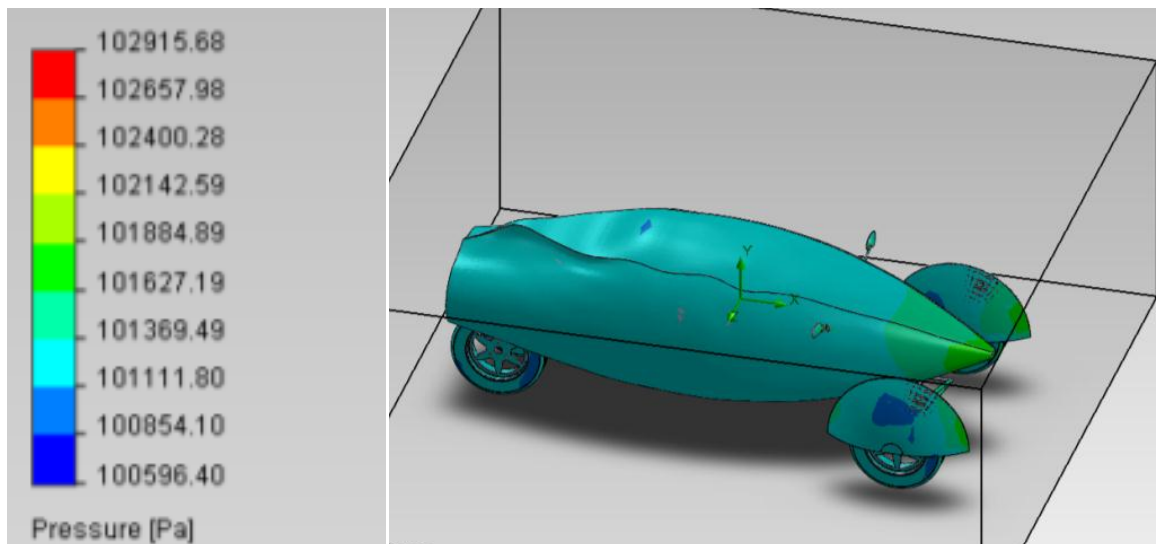


Figura 4.5 – Análise de pressões em toda a superfície do veículo

Na segunda análise (Figuras 4.6 e 4.7) pode-se ver a direção tomada pelo fluido ao passar pelas zonas partes do veículo. Esta análise é ótima para observar zonas de turbulência. Conforme previsto, comprova-se que este modelo cria pouca turbulência.

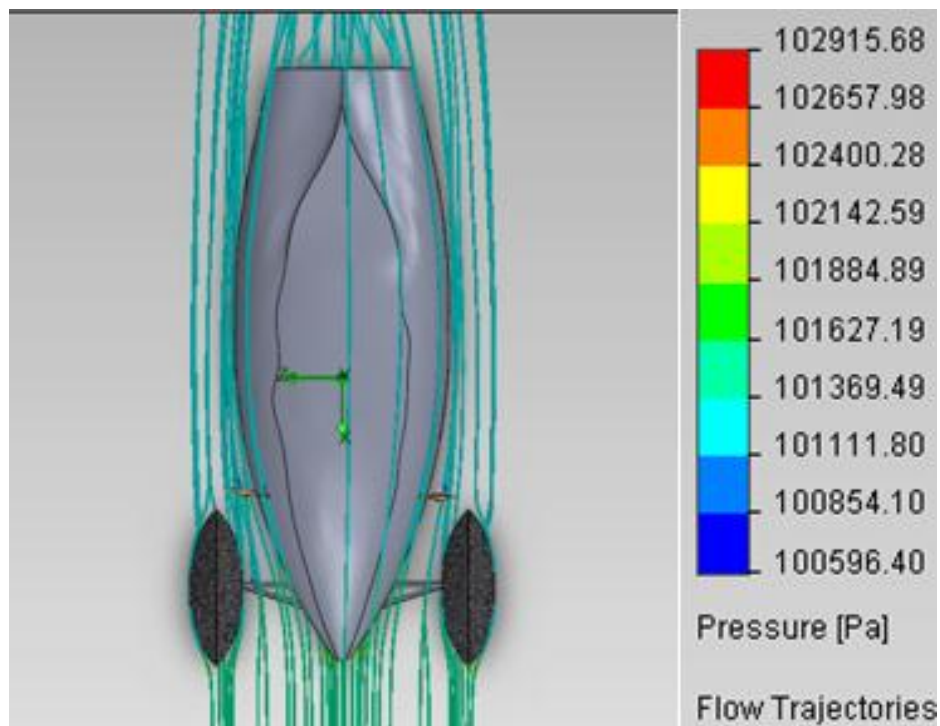


Figura 4.6 – Análise da direção do fluido, vista de topo e valores resultantes da análise

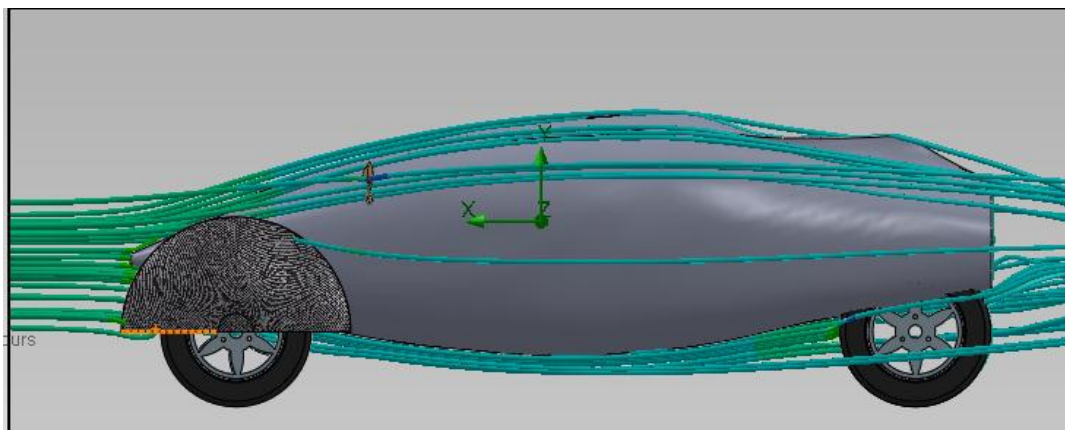


Figura 4.7 – Análise da direção tomada pelo fluido, vista lateral

4.2.1. Cálculo do coeficiente de arrasto aerodinâmico

O coeficiente de arrasto aerodinâmico (C_x) é um número adimensional utilizado para quantificar a força de resistência aerodinâmica que um determinado objeto oferece ao escoamento de um fluido numa dada direção. O coeficiente de arrasto aerodinâmico está dividido em duas parcelas principais, que são o arrasto de forma e a fricção de superfície.

Para calcular o coeficiente de arrasto aerodinâmico é necessário saber qual é a área frontal e para tal, fez-se um esboço do contorno da vista frontal, em seguida, criou-se se uma superfície para cada caso analisado (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10) e obteve-se a área das várias superfícies.

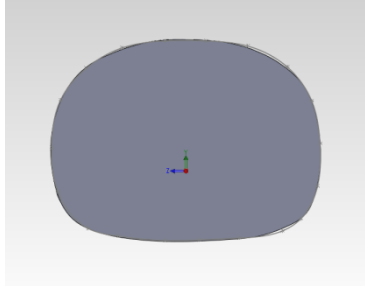


Figura 4.8 – Superfície frontal
área=0,89m²

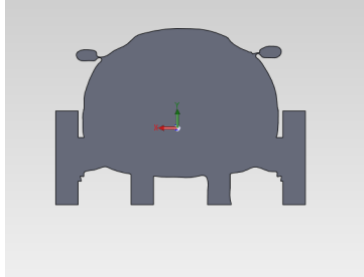


Figura 4.9 – Superfície frontal
área=1,12m²

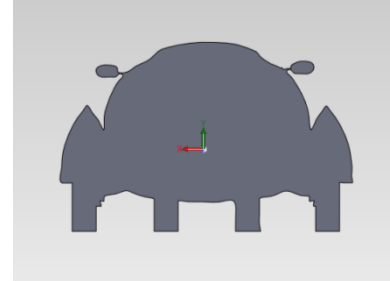


Figura 4.10 – Superfície frontal
área=1.2m²

O coeficiente de arrasto aerodinâmico pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_x = \frac{F_d}{0,5\rho V^2 A} \quad (4.1)$$

Onde:

C_x – Coeficiente de arrasto aerodinâmico;

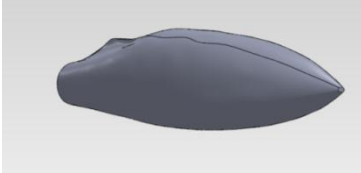
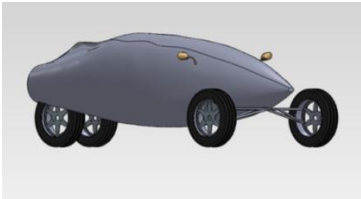
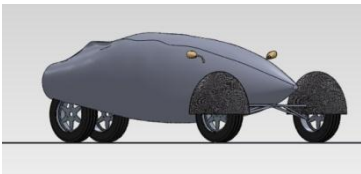
F_d - Força de arrasto [N];

ρ - Densidade do ar [kg/m³] e toma o valor de 1,225 kg/m³ a temperatura e a pressão ambiente;

A - Área frontal [m²];

V - Velocidade [m/s].

Foram feitas diversas análises de modo a poder-se identificar quais os elementos mais prejudiciais para a aerodinâmica. Podem-se observar os resultados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – coeficiente de arrasto de diversos componentes.		
Parte em estudo	Arrasto aerodinâmico no eixo X a 120 km/h [N]	Coeficiente aerodinâmico
	82,5	0,136
	129,6	0,17
	138,1	0.169

A Figura 4.11 mostra alguns exemplos de coeficientes de arrasto onde se pode verificar que o triciclo em estudo tem um coeficiente aerodinâmico relativamente baixo.

Formato	Descrição	Cx	Formato	Descrição	Cx
	Formato mais aerodinâmico	0,08		Caminhão	0,90
	Carro esporte	0,25		Ciclista em competição	0,90
	Semi-esfera face plana atrás	0,38		Cubo	1,05
	Carros de passeio	0,40		Placa quadrada	1,2
	Ônibus	0,70		Motociclista	1,8

Figura 4.11 – Exemplos de coeficientes de arrasto aerodinâmico [37]

4.3. Consumo e autonomia

Através do estudo aerodinâmico e do arrasto por rolamento, pode-se calcular o consumo e a autonomia aproximados do veículo.

O consumo devido ao arrasto aerodinâmico pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_a = V * A_a \quad (4.2)$$

Onde:

C_a - Consumo por arrasto aerodinâmico [W];

V - Velocidade [m/s];

A_a - Arrasto aerodinâmico [N].

Substituindo as variáveis na equação obtém-se o consumo por arrasto aerodinâmico.

$$C_a = 33 * 138,1$$

$$C_a = 4557,3 \text{ W}$$

O consumo devido ao arrasto de rolamento pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_{rol} = m * C_r * G * V \quad (4.3)$$

Onde:

C_{rol} - Consumo por Arrasto de rolamento [W];

m - Peso total do veículo [kg];

C_r - Coeficiente de rolamento sendo um número adimensional

G - Força da gravidade [N];

V - Velocidade [m/s].

Substituindo as variáveis na equação obtém-se o consumo devido ao arrasto por rolamento.

$$C_{rol} = 484,5 * 0.015 * 9,81 * 33$$

$$C_{rol} = 2352,7 \text{ W}$$

O consumo total é dado pelo somatório do consumo por arrasto aerodinâmico e do consumo por arrasto por rolamento, pelo que se pode escrever a seguinte equação:

$$C_{tot} = C_{aer} + C_{rol} \quad (4.4)$$

$$C_{tot} = 4557,3 + 2352,7$$

$$C_{tot} = 6910 \text{ W}$$

O consumo total é então de 6910 W. Sabendo que a capacidade total do conjunto de baterias é de 9120 Wh pode-se calcular a autonomia pela seguinte equação:

$$Autonomia = \frac{E_t}{C_{tot}} * V \quad (4.4)$$

Onde:

E_t – Energia armazenada no conjunto de baterias [Wh]

C_{tot} - Consumo total a 120 km/h [W]

V - Velocidade [m/s]

Substituindo as variáveis na equação obtém-se

$$Autonomia = \frac{9120}{6910} * 120$$

$$Autonomia = 158,4 \text{ km}$$

A autonomia do triciclo elétrico é de 158,3 km.

Sabendo que o custo por kWh é aproximadamente de 0.15€, o custo em euros por cada 100 km pode ser calculada pela equação:

$$C_{100km} = \frac{E_t * \text{preço/kWh}}{autonomia} * 100 \quad (4.5)$$

$$C_{100km} = \frac{9,120 * 0.15}{158,4} * 100$$

$$C_{100km}=0,86\text{€}$$

A autonomia será então de cerca de 158 km, tendo um custo de 86 cêntimos por cada 100 km. É necessário realçar que estes resultados são demasiado otimistas, visto ter havido diversas simplificações que favoreceram a autonomia, como o facto de a velocidade ser constante, não havendo perdas de travagem ou de aceleração, ou ainda, o facto de terem sido desprezados os rendimentos das baterias, do BMS, do motor e do conversor. Também não foram contabilizadas perdas de rendimento devido a elementos naturais, como o vento ou inclinações das estradas.

CAPÍTULO 5 - Fabrico dos componentes

5.1. Construção dos componentes em fibra de vidro

O processo de fabricação de componentes em fibra de vidro está dividido em várias etapas de complexidade variada, no entanto, todas elas são de elevada importância. Para execução do fabrico dos componentes, são necessários acessórios, tais como moldes, resina, luvas, pincéis, acetona, máscaras, desmoldante, entre outros.

Para o processo de fabricação dos componentes em fibra do triciclo motor, utilizaram-se os mesmos moldes (Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4) utilizados para o planador. No caso do molde da fuselagem, só se laminou até à dimensão do triciclo motor.



Figura 5.1 – Molde da fuselagem (lado direito)



Figura 5.2 – Molde do cockpit



Figura 5.3 – Molde do aro da canopy

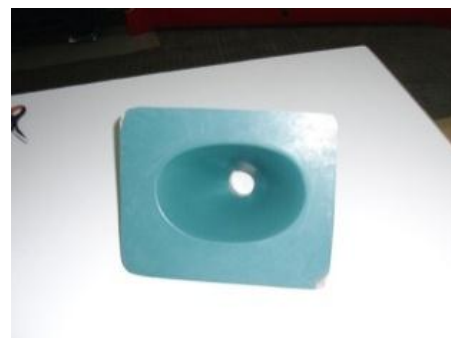


Figura 5.4 – Molde do nariz da fuselagem

Existe uma ordem fundamental na execução das várias etapas da construção de componentes em fibra, pois a resina que é previamente misturada com um catalisador tem um

tempo de secagem que se revela muitas vezes curto. Deve-se então aplicar rapidamente a resina, de modo a que a mesma não endureça antes de a peça estar em vácuo. Para isso, existem diversos preparativos a ter em conta, antes de iniciar a preparação da resina.

1. Numa primeira fase, deve-se efetuar uma limpeza do molde, com acetona, a fim de remover todas as sujidades, de modo a que a superfície final não tenha qualquer rugosidade causada por poeiras.
2. De seguida, aplicam-se três camadas de líquido tapa poros, com a ajuda de um pano limpo. As aplicações são separadas por um intervalo de quinze minutos, tempo suficiente para que ocorra a secagem do produto aplicado. A utilização do líquido tapa poros evita que a resina se infiltre no molde, o que dificultaria a desmoldagem e aumentaria a probabilidade de danificar o molde e o componente. Em seguida, procede-se a uma aplicação de três camadas de produto desmoldante, aplicado com um intervalo de quinze minutos, o suficiente para que se processe a secagem do produto. Este serve para facilitar a desmoldagem, criando uma superfície antiaderente.
3. O passo seguinte consiste no recorte dos materiais necessários para o componente a laminar, tais como a fibra (Figura 5.5), o saco plástico micro perfurado, o saco de vácuo e a manta absorvente. Dependendo do componente, poderá ser também necessário recortar outros tipos de materiais, tais como cortiça (Figura 5.6) ou madeira, caso se pretenda aumentar a rigidez da superfície e/ou posteriormente aparafusar outro componente. De seguida, é colada uma fita a toda a volta do molde, feita à base de borracha butílica, altamente elástica, especialmente desenvolvida para selar a entrada de ar (Figura 5.7). Essa fita está coberta por uma película, que serve para mantê-la limpa, e será removida quando o componente estiver pronto para vácuo.
4. Após estes preparativos, começa-se a laminar a peça, colocando uma camada de resina e intercalando com uma camada de fibra de vidro. O número de camadas tem de ser previamente calculado para se obter a rigidez requerida. Dependendo do componente, podem ser colocadas folhas de cortiça para aumentar a rigidez dessa mesma superfície, madeira para poder aparafusar posteriormente outro componente, tiras de poliuretano para dar forma, ou até mesmo colocar componentes mecânicos, como um tubo, para posteriormente passar um veio. A

construção de componentes em fibra é muito diversificada, podendo-se produzir componentes de qualquer forma e dimensão.

5. Após todas as camadas terem sido aplicadas, coloca-se o saco micro perfurado, que serve para deixar passar a resina em excesso, sem deixar a manta absorvedora diretamente em contato com a resina. Como esta manta é de um material semelhante ao algodão, seria impossível descolá-la após a resina estar seca. De seguida, coloca-se o saco de vácuo, que é um saco plástico transparente e resistente, para não furar com facilidade. Remove-se a película da fita seladora de ar e cola-se o saco, deixando colocados tubos vindos da bomba de vácuo (Figura 5.8). A bomba de vácuo é ligada e verifica-se se existem fugas. O efeito de vácuo serve para que as várias camadas de fibra e resina sejam pressurizadas sobre o molde, ficando assim com a forma exata, e também para remover o excesso de resina. Quando todas as fugas tiverem sido removidas, coloca-se a peça num forno, para uma melhor cura da resina.



Figura 5.5 – Tela de fibra de carbono.



Figura 5.6 – Cortiça



Figura 5.7 – Bomba de vácuuo



Figura 5.8 – Tacky tape (Fita seladora de ar)

Após proceder como indicado nos pontos anteriores, os componentes ficam nos respetivos moldes sob efeito de vácuo, dependendo das dimensões e da espessura, por um tempo geralmente superior a 24h, como se pode visualizar nas Figuras 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12.

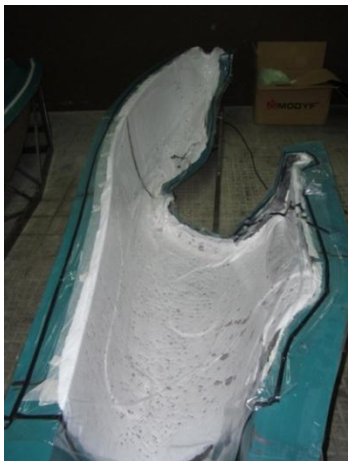


Figura 5.9 – Fuselagem em vácuo



Figura 5.10 – Cockpit em vácuo



Figura 5.11 – Nariz da fuselagem



Figura 5.12 – Aro da canopy

Após o período de cura da resina, procede-se a desmoldação, que deve ser feita com cuidado, de modo a não estragar nem o componente, nem o molde. Pode-se visualizar nas Figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, e 5.17 alguns componentes após terem sido retirados dos respectivos moldes.



Figura 5.13 – Lateral direita da fuselagem



Figura 5.14 – Cockpit



Figura 5.15 – Nariz da fuselagem



Figura 5.16 – Aro da canopy



Figura 5.17 – Encosto do banco

5.2. Construção das baterias

Após o dimensionamento das baterias referido no capítulo 3, procedeu-se à construção das mesmas.

Numa primeira fase, construiu-se a caixa em madeira que serve de alojamento para todas as células. De seguida, removeu-se o cobre de uma placa de circuito impresso, com a ajuda de um ácido. Utilizou-se a placa de circuito impresso para garantir que não houvesse passagem de corrente entre as lâminas das baterias. Após o cobre ter sido totalmente removido, recortou-se a mesma à medida da caixa, já com o recorte para colocação do BMS. De seguida, com a ajuda do desenho da placa de bateria (Figura 5.18), fizeram-se as marcas na placa do local onde se situam as lâminas das baterias e procedeu-se à furação da placa, com o auxílio de uma mini rebarbadora, obtendo então a placa de ligação (Figura 5.19) pronta a ser utilizada.

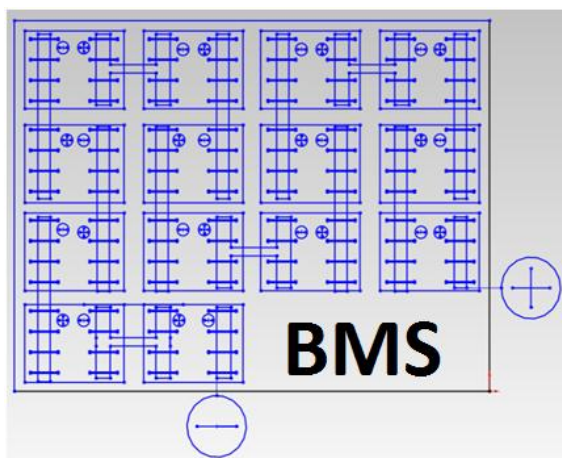


Figura 5.18 – Desenho da placa de ligação da bateria



Figura 5.19 – Placa de ligação da bateria

Cortaram-se barras de alumínio de perfil circular, (Figura 5.20) para servirem de condutores e, ao mesmo tempo, de espaçadores das lâminas das células. Furaram-se os espaçadores para poderem ser aparafusados. Para a devida fixação dos condutores/espaçadores (Figura 5.21), cortou se um varão roscado, que serviu de parafuso.



Figura 5.20 – Barras de alumínio de secção retangular e circular e varão roscado



Figura 5.21 – Espaçador/condutor

Para possibilitar a passagem do varão roscado pelas lâminas das células (Figura 5.22), foi necessário furar as mesmas. Para execução desta tarefa, fabricou-se um suporte de fixação (Figura 5.23), que permitiu a furação sem danificar as lâminas.



Figura 5.22 – Célula



Figura 5.23 – Suporte das células para furação

Após todos os componentes de fixação estarem prontos, procedeu-se à devida montagem da bateria. Pode-se visualizar a montagem e fixação das células já dentro da caixa na Figura 5.24.



Figura 5.24 – Montagem e fixação das células

5.3. Montagem final do triciclo motor

Por fim, procedeu-se à montagem das diversas partes do conjunto. As partes direita e esquerda da fuselagem foram unidas por processo de colagem juntamente com o nariz. Os outros elementos, tais como o cockpit e os bancos, foram aparafusados. Obteve-se o resultado que pode ser visto na Figura 5.25. A construção do triciclo elétrico não foi concluído por falta de tempo e de recursos.



Figura 5.25 – Montagem final

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um triciclo elétrico, baseado num planador elétrico, que apresentasse uma alta eficiência energética por beneficiar do baixo peso e arrasto aerodinâmico típico destes veículos.

Este projeto exigiu, igualmente, o recurso imprescindível ao *software SolidWorks*. Este *software*, que inicialmente pode causar uma relativa dificuldade de utilização, rapidamente se torna agradável e simples de utilizar, embora continue a ser um programa complexo, na medida em que a realização de desenhos é um processo demorado. A utilização deste programa serviu de ferramenta para o desenho tridimensional do triciclo motor, e também, para fins de cálculos de arrasto aerodinâmico.

O triciclo motor tem um comprimento de 3250 mm, altura de 1085 mm e largura entre vias de 1365 mm à frente e 460mm no eixo traseiro.

As suspensões utilizadas no eixo dianteiro são do tipo *push-rod* com braços de suspensão simples e no eixo traseiro é utilizado uma escora com um amortecedor central.

O sistema de travagem é composto por três travões de discos. Um é colocado no eixo traseiro e dois são colocados junto às rodas dianteiras.

O motor é do tipo rotor externo. É posicionado no eixo traseiro, junto à roda direita. É fixo à escora, transmitindo a potência para a manga de eixo, que por sua vez transmite a potência para o veio, sendo a potência igualmente repartida pelas duas rodas traseiras.

Calculou-se o centro de massa e as transferências de peso longitudinais e laterais. Os cálculos preveem que o triciclo motor tenha a estabilidade necessária para que não apresente riscos associados à possibilidade de capotar.

Calculou-se a força aplicada em cada um dos amortecedores dianteiros e do amortecedor traseiro, tendo-se obtido o valor de 2780N para cada um dos amortecedores dianteiros e o valor de 4792 N para o amortecedor traseiro.

Foi calculada a capacidade de carga do conjunto de baterias, tendo-se obtido o valor de 9,2 kWh.

Fez-se uma análise aerodinâmica ao veículo, utilizando o *software Solidworks*, obtendo-se um coeficiente aerodinâmico de 0.169 Cx .

Fizeram-se os cálculos simplificados da autonomia do veículo para uma velocidade constante de 120km/h, desprezando os rendimentos das baterias, do BMS e do motor. Também não foram contabilizadas perdas de rendimento devido a elementos naturais, como o vento ou inclinações das estradas. Os resultados obtidos foram de 158 km de autonomia, tendo assim um custo de 86 cêntimos por cada 100 km

Foi realizada a construção de alguns componentes em fibra, tendo sido uma tarefa de elevado proveito pessoal, pois o facto de ter tido experiência nesta área ajudou-me a compreender melhor o mecanismo de produção em compósitos e também a comprovar a sua grande utilidade para projetos futuros.

O modelo em questão neste projeto enquadra-se no panorama de mercado atual, uma vez que reflete o desejo crescente dos consumidores de adquirirem modelos cada vez mais económicos e eficientes. Acompanha ainda as crescentes preocupações ambientais. Além disso, o triciclo elétrico apresenta a vantagem de poder ser adaptado a diferentes tipos de consumidores, através da possível colocação de baterias adicionais, e, ainda, a capacidade de se aumentar a potência do mesmo, através da instalação de mais motores.

6.2. Trabalhos futuros

Os objetivos deste projeto foram atingidos, não obstante um trabalho desta dimensão ser sempre suscetível de ser aprimorado. Assim, como objetivos futuros, acima de tudo, deverá ser concluída a construção integral do triciclo elétrico, de modo a poder-se testá-lo em condições reais.

Será também de todo pertinente redesenhar o triciclo com um sistema *tilting*, que permite a um veículo de três rodas inclinar-se nas curvas como uma moto de duas rodas, conferindo ao veículo uma maior aderência, estabilidade e prazer de condução. Uma outra vantagem seria o veículo poder ficar com uma largura entre vias muitíssima inferior, mantendo a mesma velocidade em curva, oferecendo ao veículo uma melhor mobilidade.

Associado ao sistema *tilting*, será necessário projetar o triciclo motor com apenas uma roda no eixo traseiro, de modo a que veículo possa inclinar-se facilmente e suavemente. Alternativamente, o veículo poderá manter as duas rodas traseiras, mas os braços deverão ser independentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – MARTINS Jorge, Carros De Combustão Interna, Publindústria, 2006
- [2] – 93/500/CEE: Decisão do Conselho, de 13 de Setembro de 1993, relativa à promoção das energias renováveis na Comunidade (programa ALTENER)
- [3] – 91/565/CEE: Decisão do Conselho, de 29 de Outubro de 1991, relativa à promoção do rendimento energético na Comunidade (programa SAVE)
- [4] – Regulamento (CEE) No 2008/90 do Conselho, de 29 De Junho de 1990, relativo a promoção de tecnologias energéticas na Europa (programa THERMIE)
- [5] – Decisão 2002/358/CE do Conselho, de 25 de abril de 2002, relativa à aprovação, em nome da Comunidade Europeia, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas e ao cumprimento conjunto dos respetivos compromissos.
- [6] – G. Haydt, “Blog Infopetro,” [Online]. Disponível em:
<http://infopetro.wordpress.com/2012/06/18/a-politica-energetica-europeia-racionalizacao-do-uso-e-introducao-de-renovaveis/>. [Acedido em 15 10 2012].
- [7] – “EDP”, [online].
<http://www.edp.pt/pt/empresas/precolivre/energiacorporate/Pages/EnergianaEDPComercial.aspx>. [acedido em 15 10 2012]
- [8] – MARTINS JORGE e BRITO Carrusca Pimenta de, *Carros Elétricos*, Pubindústria, 2011
- [9] – “History Pics”, [Online]. Disponível em: bikingtoronto.com/historypics/author/lock/. [Acedido em 15 10 2012].
- [10] – “Ecomodder”, [Online]. Disponível em:
<http://ecomodder.com/forum/showthread.php/worlds-first-hybrid-porsche-semper-vivus-16247.html> [Acedido em 15 10 2012].

- [11] – “Voiture electrique”, [Online]. Disponível em: <http://www.voiture-electrique-populaire.fr/vehicule/histoire> [Acedido em 15 10 2012].
- [12] – “Renault”, [Online]. Disponível em: <http://www.renault.com/en/vehicules/aujourd-hui/renault-vehicules-electriques/pages/twizy.aspx> [Acedido em 15 10 2012].
- [13] – “Jalopnic”, [Online]. Disponível em: <http://jalopnik.com/5314626/tesla-roadster-sport-first-drive> [Acedido em 15 10 2012].
- [14] – “Opel”, [Online]. Disponível em: <http://www.opel.pt/experiencia-opel/sobre-a-opel/noticias-opel/2010/june/opel-ampera-dossie.html> [Acedido em 15 10 2012].
- [15] – “Wikipedia”, [Online]. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Aptera_2_Series [Acedido em 15 10 2012].
- [16] – “Opel”, [Online]. Disponível em: <http://www.opel.pt/experiencia-opel/sobre-a-opel/noticias-opel/2011/setembro/carro-um-euro-frankfurt.html> [Acedido em 15 10 2012].
- [17] - Fecheira, José Manuel Fernandes da silva. Projeto de veículo eficiente para homologação CE. Guimarães, 2011. Dissertação (mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) Universidade do Minho.
- [18] – “Wikipedia”, [Online]. Disponível em: [fr.wikipedia.org/wiki/ch%c3%a2ssis_\(automobile\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/ch%c3%a2ssis_(automobile)) [Acedido em 15 10 2012].
- [19] – “Betaferramentas”, [Online]. Disponível em: <http://betaferramentas.com.br/downloads/alinhamento.pdf> [Acedido em 15 10 2012].
- [20] – “The warfields”, [Online]. Disponível em: <http://www.thewarfields.com/HotRodBlogSuspIntro.htm> [Acedido em 15 10 2012].
- [21] - [Online]. Disponível em: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-450114227-mola-suspensao-dianteira-esq-f4000-9398-_JM?redirectedFromParent=MLB440225955 [Acedido em 15 10 2012].

[22] – “Goionews”, [Online]. Disponível em:

<http://www.goionews.com.br/noticia/2012/11/12/super-promocao-de-amortecedores-na-goio-pecas/34685/> [Acedido em 15 10 2012].

[23] – “Glossarium”, [Online]. Disponível em:

www.glossarium.com.br/busca.php?termo=amortecedor&opt=pting [Acedido em 15 10 2012].

[24] - MILLIKEN, William F. e MILLIKEN. Douglas L. Race Car Vehicles Dynamics. Warrendale,PA: SAE. 1995

[25] – “Wikipedia”, [Online]. Disponível em: [fr.wikipedia.org/wiki/direction_\(automobile\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/direction_(automobile)) [Acedido em 15 10 2012].

[26] – “Wikipedia”, [Online]. Disponível em:

pt.wikipedia.org/wiki/geometria_de_ackermann [Acedido em 15 10 2012].

[27] – LINDE, Linde, *how you car Works*, RAC handbook, 2011

[28] – “Zeronze”, [Online]. Disponível em: www.zeronze.com/freios/ [Acedido em 15 10 2012].

[29] – “Mecanicacaseira”, [Online]. Disponível em:

<http://mecanicacaseira.blogspot.pt/2010/07/troca-e-regulagem-do-tambor-de-freio.html> [Acedido em 15 10 2012].

[30] – “Professorcarlao”, [Online]. Disponível em:

http://blogdoprofessorcarlao.blogspot.pt/2009/04/hidraulica-como-funciona-o-freio_24.html [Acedido em 15 10 2012].

[31] – “Autoviva”, [Online]. Disponível em:

[autoviva.sapo.pt/mercedes_benz_f300_life_jet/foto/5703\(TILTING\)](http://autoviva.sapo.pt/mercedes_benz_f300_life_jet/foto/5703(TILTING)) ", 1 05 2012. [online] [Acedido em 15 10 2012].

[32] - Decreto-lei nº 30/2002 16 de fevereiro, Diário da República nº 40/02— I Série-A, Ministério da Administração Interna

- [33] – “Automobile, Handling, and Suspension Design”, [Online]. Disponível em: <http://medlem.spray.se/bmw02hemsida/filer/roadholding/Automobile%20Ride,%20Handling,%20and%20Suspension.htm> [Acedido em 15 10 2012].
- [34] – “Grabcad”, [Online]. Disponível em: <HTTP://GRABCAD.COM/LIBRARY> [Acedido em 15 10 2012].
- [35] - Gomes, José Miguel Sousa. Power-Film: Um filme flexível autónomo para alimentar dispositivos elétricos. Guimarães. 2012. Dissertação (mestrado integrado em Engenharia eletrónica) Universidade do Minho
- [36] – “Miklos”, [Online]. Disponível em: <http://www.miklos.blog.br/2010/04/conectar-baterias-em-serie-e-em.html> [Acedido em 15 10 2012].
- [37] – “Portal São Francisco”, [Online]. Disponível em: www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/resistencia-do-ar/resistencia-do-ar.php [Acedido em 15 10 2012].
- [38] - BOSCH, Automotive Handbook. 7. ed. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2007. p. 820-909.
- [39] - DIXON, John C. *Tires, Suspension and Handling*. London: Arnold, 1992.
- [40] - GILLESPIE, Thomas D. *Fundamentals of Vehucles Dynamics*. Warrendale: SAE, inc., 1992.
- [41] - J-P BROSSARD. *Dynamique du véhicule, Modélisation des systèmes*
- [42] - MILLIKEN, William F. e MILLIKEN. Douglas L. *Race Car Vehicles Dynamics*. Warrendale,PA: SAE. 1995
- [43] - PUHN. How to make your car handle. HP Books. 1976.
- [44] - SMITH, Carroll. Tune To Win. Fallbrook: Aero Publishers, 1978.
- [45] - Th. HALCONRUY. Les Liaisons au sol. E.T.A.I. 1995

[46] - VALKENBURGH, Paul Van. Race Car Engineering & Mechanics. Seal Beach Calif.: HPBooks, 2000